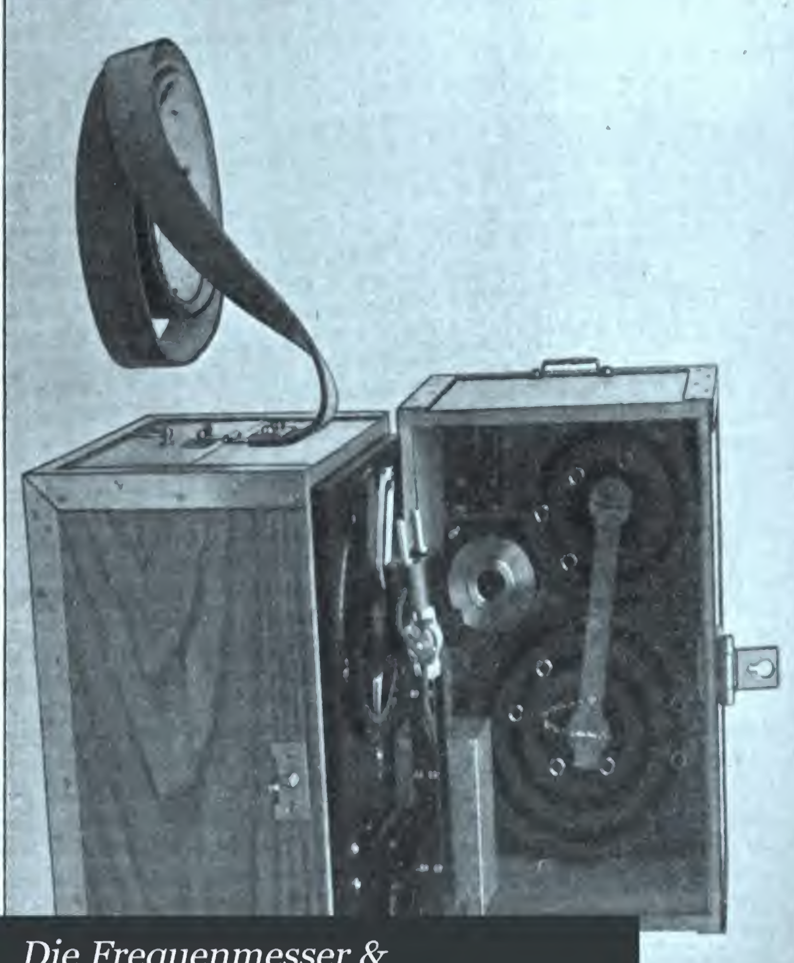


Die Frequenmesser & Dämpfungsmesser der ...

Eugen Nesper

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Verlag von VEIT & COMP. in LEIPZIG

DIE DARSTELLUNG DER SELTENEN ERDEN.

Von

Dr. C. Richard Böhm.

Zwei Bände.

Lex. 8. 1905. geh. 42 M., geb. in Halbfranz 47 M.

Die ungeahnte Bedeutung, welche die seltenen Erden — Cerit- und Ytteriterden, sowie das Thorium und die Zirkonerde — in jüngster Zeit für die chemische Technik gewonnen haben, hat den Mangel eines umfassenden Nachschlagewerkes besonders fühlbar gemacht. Das vorliegende Werk behandelt mit ausführlichen Literaturnachweisen die Reaktionen und Trennungsmethoden, die Beschaffung und Verarbeitung der Rohmaterialien, die Spektralanalyse, die Verwendung usw. Es ist für jeden auf dem Gebiet der modernen Beleuchtungsindustrie wissenschaftlich arbeitenden Chemiker unentbehrlich.

DAS GASGLÜHLICHT.

SEINE GESCHICHTE, HERSTELLUNG UND ANWENDUNG.

Ein Handbuch für die Beleuchtungsindustrie.

Von

Dr. C. Richard Böhm.

Mit 379 Abbildungen.

gr. 8. 1905. geh. 14 M., geb. in Ganzleinen 15 M. 50 Pf.

DRAHTLOSE TELEGRAPHIE

DURCH WASSER UND LUFT.

Nach Vorträgen, gehalten im Winter 1900

von

Prof. Dr. Ferdinand Braun,

Direktor des physikalischen Instituts der Universität Straßburg.

Mit zahlreichen Figuren und Abbildungen. — Lex. 8. 1901. geh. 2 M.

DIE DRAHTLOSE TELEGRAPHIE

auf Grund eigner praktischer Erfahrungen.

Von

Dr. Gustav Eichhorn.

Mit zahlreichen Figuren. — gr. 8. 1904. geh. 5 M., geb. in Ganzleinen 6 M.

ELEKTROCHEMIE.

Ihre Geschichte und Lehre.

Von

Wilhelm Ostwald.

Mit 260 Nachbildungen geschichtlicher Originalfiguren.

Lex. 8. 1896. geh. 28 M., eleg. geb. 30 M.

Digitized by Google

DIE FREQUENZMESSER UND DÄMPFUNGSMESSER DER STRAHLENTELEGRAPHIE

VON

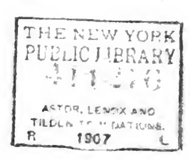
DR. EUGEN NESPER
DIPLOM-INGENIEUR

MIT 197 FIGUREN



LEIPZIG
VERLAG VON VEIT & COMP.
1907

Digitized by Google



ALLE RECHTE VORBEHALTEN

Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig

Digitized by Google

Vorwort.

Die auf dem Gebiete der Strahlentelegraphie bisher erschienenen Veröffentlichungen beschäftigen sich, soweit sie über den Rahmen der Mitteilung eigener Versuche hinausgehen und sofern sie nicht Spezialfragen betreffen, eingehend mit den am Sender und am Empfänger auftretenden Erscheinungen. Im allgemeinen werden indessen in allen Arbeiten und Abhandlungen die Methoden, Apparate und Vorrichtungen zur Bestimmung und Wahrnehmbarmachung der Frequenz× und der Schwingungsvorgänge in einem Schwingungssysteme, die für die abgestimmte Telegraphie, also für die Praxis von größter Wichtigkeit sind, entweder überhaupt nicht erwähnt oder nur sehr flüchtig gestreift. Selbst Zenneck widmet in seinem Buche „Elektromagnetische Schwingungen und drahtlose Telegraphie" den Wellenmeßvorrichtungen nur wenige Seiten.

Für die Montage und den Betrieb einer Station der Strahlentelegraphie, sei dies nun eine Land-, Schiffs-, fahr- oder tragbare Station, spielt die Messung der Frequenz und damit die Abstimmung eine große Rolle. Sie wird von noch größerer Bedeutung werden, wenn es gelingt — wozu jetzt Aussicht vorhanden ist —, sehr wenig

× In der Strahlentelegraphie hat sich das Wort „Wellenmesser" an Stelle von „Frequenzmesser" eingebürgert, obwohl die Wellenlänge das Abgeleitete und die Periode, bzw. die Frequenz das Ursprüngliche ist. Nur in dem Falle, wo die Geschwindigkeit der elektromagnetischen Störung im Schwingungssystem in Übereinstimmung mit der Lichtgeschwindigkeit ist, wie beim Lechersystem, ist die Bezeichnung „Wellenmesser" gerechtfertigt. Diese Tatsache, auf die schon Drude hingewiesen hat, war für den Titel der vorliegenden Schrift maßgebend, da in folgendem außer den Dämpfungsmeßmethoden und Dämpfungsmeßvorrichtungen in der Hauptsache Periodenmeßmethoden und Frequenzmesser für Strahlentelegraphie und -telephonie behandelt sind.

Digitized by Google

gedämpfte oder ungedämpfte Schwingungen im großen zu verwenden. Wenn dieses Ziel nicht nur im Laboratorium, sondern auch bei Sende- und Empfangsstationen der Praxis vollkommen erreicht sein wird, werden bei wenig gedämpften Empfängern Anordnungen, die um Bruchteile von Prozenten verstimmt sind, nicht mehr miteinander sprechen können. Dann werden die jetzt schon stellenweise wohldurchkonstruierten empfindlichen Frequenzmesser noch einer besonders feinen elektrischen oder mechanischen Einstellung bedürfen, oder man wird zu Frequenzmessern übergehen, wie sie in der Wechselstromtechnik angewendet werden.

Der Zweck dieses Buches ist, die gekennzeichnete Lücke auszufüllen und eine Zusammenstellung derjenigen Frequenzmesser zu bringen, welche entweder in der Praxis angewendet werden oder sich für wissenschaftliche Experimentaluntersuchungen eignen. Im Anfang sind die grundlegenden Versuchsanordnungen, welche Wellen an Drähten, bzw. einfache Resonanzkreise behandeln, besprochen. Die Anordnung und Verteilung des Stoffes ist fast durchweg so getroffen, daß bei jedem Frequenzmesser die Schaltungsschemata und ausgeführten Konstruktionen, seine Theorie und Anwendungsarten, eine Kritik der betreffenden Vorrichtung, sowie Literatur und Patente mitgeteilt sind. Im Anhang sind Bezugsquellen und Preise, letztere unverbindlich, zusammengestellt. Das Wesentlichste dürfte damit erschöpft sein.

Den zweiten Teil des Buches bilden Darstellungen und Beschreibungen von Dämpfungsmeßmethoden, ausgeführten Dämpfungsmessungen und Vorrichtungen zur Dämpfungsmessung. Die fortschreitende Technik verlangt nicht nur die genaue Kenntnis der Schwingungsvorgänge in einem System, sondern es erscheint auch wünschenswert, die anderen Eigenschaften eines Schwingungsgebildes, also insbesondere Dämpfung und Strahlung festzustellen. Es ist daher von Wichtigkeit, diejenigen Dämpfungsmesser zu erörtern, die für die Praxis von Bedeutung wurden. Hier kommen im wesentlichen die sich auf die Arbeiten von Bjerknes stützenden Anordnungen von Tissot, Fleming, Braun, Brandes, Zenneck, Hahnemann u. a. in Betracht. Daneben sind noch andere für wissenschaftliche Zwecke interessante Methoden wiedergegeben.

Strahlungsmesser sind in dem vorliegenden Buche nicht zum Gegenstande der Erörterung gemacht, und zwar lediglich aus dem Grunde, weil der beste Strahlungsmesser stets ein normaler Empfänger sein wird. Daneben sind allerdings Anordnungen bekannt geworden, wie z. B. durch die Messungen von Tissot und Duddell-

Digitized by Google

Taylor, bei denen ein einen Energieanzeiger (Bolometer-Anordnungen, Langleysche Brücke usw.) enthaltender Empfänger als Strahlungsmesser benutzt wurde. Zur Ausführung im praktischen Stationenbau sind diese Methoden aus Mangel an einem Bedürfnis hierfür indessen nicht gelangt.

Es ist selbstverständlich, daß die wiedergegebenen Frequenzmeß- und Dämpfungsmeßmethoden die gekennzeichneten Gebiete nicht absolut erschöpfen, sondern daß es möglich sein wird, noch neue Kombinationen zu schaffen; hierzu Anregung zu geben und das wesentliche bisher bekannte oder im Betriebe angewandte Material mitzuteilen, gelingt hoffentlich den folgenden Ausführungen.

Herrn W. Hahnemann verdanke ich nicht nur zahlreiche Ratschläge, sondern auch die Überlassung des Materials zu den Kapiteln 10 und 11 des zweiten Abschnittes. Herr Dr. E. F. Huth hat mir mehrfache Anregungen zuteil werden lassen. Zu besonderem Danke bin ich Herrn Dr. E. Martiny für mehrfaches Korrekturlesen und der Verlagsbuchhandlung für zweckentsprechende Ausstattung des Buches verpflichtet.

Berlin, im Frühling 1907.

Dr. Eugen Nesper

Digitized by Google

Inhalt.

Digitized by Google

Digitized by Google

B. Dämpfungsmeßmethoden und -anordnungen.

Digitized by Google

Digitized by Google

Einleitung.

Die Kenntnis der kurzwelligen Strahlen (etwa 300 $\mu\mu$ bis 900 $\mu\mu$), die Bestimmung ihrer Wellenlänge und damit ihrer Frequenz ging zeitlich der der langen Wellen (etwa 50 m bis über 3000 m) weit vorauf und schuf eine Anschauung und Theorie, die später im großen ganzen für die „Strahlen elektrischer Kraft" ohne weiteres übernommen werden konnte. Beugung, Interferenz, Reflexion, Brechung und Doppelbrechung waren Eigenschaften, welche die Strahlen aller Wellenlängen zeigten. Einige andere Qualitäten, die aus der Optik bekannt waren, wie z. B. die Fluoreszenzerscheinung, konnten hingegen bisher für lange Wellen experimentell nicht nachgewiesen werden.

Wesentlich ist nun, daß die Wellenmeßmethoden, die in der Optik angewendet werden, sinngemäß, wenigstens für kurze elektromagnetische Wellen, auch auf die in der Strahlentelegraphie angewandten Hertzschen Schwingungen übertragen werden können. Für wissenschaftliche Versuche sind derartige Anordnungen schon aus Gründen der Wesensgleichheit aller elektromagnetischen Störungen von besonderem Interesse. Für die Praxis der Strahlentelegraphie kommen sie indessen nicht in Betracht. Hier bildet nach den bisherigen Ergebnissen in der Hauptsache das Resonanzprinzip die Grundlage. Nahezu sämtliche in die Praxis eingeführten Wellenmesser, ebenso wie die Frequenzmeßsysteme für Laboratoriumszwecke, beruhen auf dem Resonanzphänomen. Letzteres hat für Frequenzmeßzwecke eine große Reihe von Modifikationen erfahren.

Die in der Wechselstromtechnik benutzten Methoden der Frequenzmessung konnten bisher in der Strahlentelegraphie nicht Anwendung finden, da die hierbei in Frage kommenden Schwin-

Digitized by Google

gungen mehr oder weniger stark gedämpft sind. Bei Anwendung ungedämpfter Schwingungen und dementsprechenden strahlentelegraphischen Stationen auch für große Entfernungen vereinfachen sich selbstverständlich die gesamten Erscheinungen wesentlich derart, daß die einfachen Wechselstromgesetze Anwendung finden und damit auch die in der Wechselstromtechnik gebräuchlichen Meßmethoden und Instrumente benutzt werden können. Schon heute spielen die Abstimmung strahlentelegraphischer Stationen — die erst nach Einführung ungedämpfter Schwingungen voll durchgeführt sein wird — und somit auch die Abstimmvorrichtungen und Methoden, sowohl in wissenschaftlicher Hinsicht wie in kommerzieller Beziehung, eine bedeutende Rolle, so daß der Versuch einer kritischen Zusammenstellung der Frequenzmeßverfahren und -apparate schon jetzt gerechtfertigt erscheint; insbesondere, weil sich hierdurch Ausblicke auf Künftiges eröffnen.

Die heute verwendeten praktischen Frequenzmesser haben ihren Ursprung in den Versuchen von Hertz, Lodge und Bjerknes; insbesondere war es Lodge[1] (1889/90), welcher die ersten eingehenden Untersuchungen über das Resonanzprinzip oder die „Syntonik", wie er dieses nach einem Vorschlage von A. T. Myers nannte, anstellte. Seine damalige Vorrichtung, bei der die Selbstinduktion des Resonanzkreises variabel war, kann man als den ersten Demonstrationsfrequenzmesser bezeichnen, da bei seiner Anordnung das Resonanzphänomen besonders deutlich und weithin sichtbar ist.

Fast zu gleicher Zeit hatte Lecher[2] eine Studie über elektrische Resonanzerscheinungen abgeschlossen, wobei er in einem Paralleldrahtsystem stehende elektrische Schwingungen erzeugte. Dieses nach ihm benannte System, (und die im Anschluß hieran von anderen in Vorschlag gebrachten Modifikationen), welches wegen seiner Vorzüge in elektrischer Beziehung das „Standard-Eichsystem" für alle Frequenzmesser geworden ist, führen aus den oben angegebenen Gründen allein mit Recht die Bezeichnung „Wellenmesser".

Das Lechersystem hat eine Reihe von Veränderungen und Verbesserungen erfahren, insbesondere war man bestrebt, die unbequeme Längsausdehnung der Paralleldrähte zu vermindern. Derartige besonders gedrungene Konstruktionen, die sich namentlich für Eichzwecke mit nicht zu hoher Genauigkeit eignen, rühren unter anderen von Ives[3] und Gehrcke[4] her. Unter den zahlreichen Paralleldrahtanordnungen für Demonstrationszwecke sind die Anordnungen von Arons[5] und Righi[6] besonders bemerkenswert. In keiner der damaligen Beschreibungen oder theoretischen

Digitized by Google

Erörterungen ist indessen die Bedeutung der Vorrichtungen nach Lecher oder Lodge zur Frequenzmessung erkannt oder klar zum Ausdruck gebracht worden. Vielmehr sollten die genannten Vorrichtungen im wesentlichen nur Studien über die Ausbreitung von Wellen an Drähten und über die Wirkung von Resonanzeffekten darstellen. Mehr aus jenen Arbeiten herauszulesen ist nur dann möglich, wenn man sich auf den gegenwärtigen Stand der Erfahrung und Erkenntnis stellt. Letzteres ist selbstverständlich für die Beurteilung nicht zulässig.

Anders verhält es sich mit dem geeichten Resonanzsystem, welches 1895 von Bjerknes veröffentlicht wurde. Bjerknes hatte den großen Wert des geeichten variablen Meßsystems für Wellenlängenmessungen und Dämpfungsbestimmungen klar erkannt und einen veränderlichen, kalibrierten Schwingungskreis, welcher mit einem Strom- oder Spannungsindikator, für Maximal- oder Integraleffekt, verbunden war, angegeben. Diesem Meßsystem gegenüber bedeuten alle folgenden Wellenmesser, die einen geschlossenen Schwingungskreis benutzen, im wesentlichen nur technische Anwendungen und Verbesserungen.

Im Sommer 1896 machte Marconi seine ersten Versuche mit „drahtloser Telegraphie". Die Abstimmung war bei den damaligen einfachen Sende- und Empfangsanordnungen, die in der Hauptsache nur vergrößerte Hertzsche Oszillatoren und Resonatoren, die geerdet waren, darstellten, verhältnismäßig einfach, indem die geometrische Gestaltung der Sende- und Empfangsantennen möglichst übereinstimmend gewählt wurde. Im übrigen wurde der Empfänger so lange verändert, bis der beste Empfangseffekt erzielt war.

Von Marconi rührt auch die zuerst ausgesprochene Erkenntnis der Abstimmung der einzelnen Kreise bei gekoppelten Sendern und Empfängern und der Empfangs- auf die Sendestationen selbst her. Es heißt hierüber im D. R. P. 121424, angemeldet 21./3. 1899, ausgegeben 6./6. 1901:

„Sehr zweckmäßig ist es, die Induktionsspule (die mit dem Fritter verbunden ist), so auszubilden, daß dieselbe von vornherein eine tunlichst geringe Selbstinduktion aufweist. Ebenso empfiehlt es sich, die Induktionsspule auf die Länge der übermittelten elektrischen Welle abzustimmen.

Die Kapazität des Kondensators richtet sich zweckmäßig ebenfalls nach der Wellenlänge."

Fast zu gleicher Zeit, am 15. Dezember 1899 meldete Fessenden in Amerika zwei Patente an (U. S. Patents Nr. 706935 und 706736),

Digitized by Google

in denen die Abstimmung des Sendeluftleiters auf den Erregerkreis ausgesprochen ist.

Eine weitere Stelle findet sich in dem Marconi erteilten D. R. P. 129018 vom 6./11. 1900, ausgegeben 11./3. 1902 (entsprechend dem englischen Patent 7777/1900, angemeldet am 26. April 1900, erteilt 13. April 1901):

„Um die zweite der eingangs erwähnten Voraussetzungen einer hohen Leistung zu erfüllen, müssen nicht nur Geber und Empfänger gleichgestimmt (synton) sein, sondern es müssen auch sowohl an der Gebe-, als auch an der Empfangsstelle die primäre und die sekundäre Leitung des Umformers gleichgestimmt sein, indem das Produkt von Selbstinduktion und Kapazität für die vier in Betracht kommenden Leitungen denselben Wert hat."

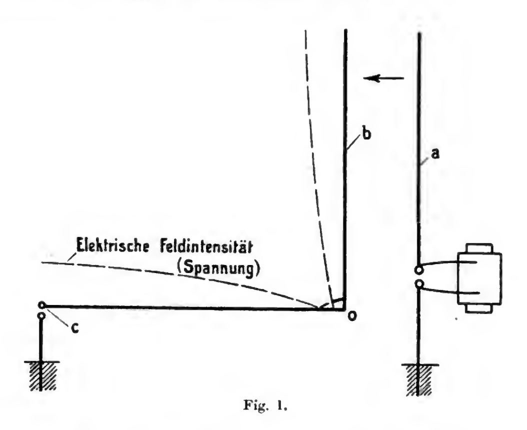


Fig. 1.

Nach den grundlegenden Arbeiten von Bjerknes rührt die erste beabsichtigte Frequenzmeßvorrichtung zu strahlentelegraphischen Abstimmzwecken offenbar von Slaby[7] her; diese ist in Fig. 1 wiedergegeben. Ein direkt erregter Sender *a* bringt einen Fangedraht *b* zum Mitschwingen, der aus einem vertikalen Luftdraht und einem mit diesem unten verbundenen horizontalen Draht besteht. Die variable Länge des letzteren wird so bemessen, daß in der Funkenstrecke *c* maximale Funken auftreten, d. h., daß dort ein Bauch elektrischer Feldintensität vorhan-

Digitized by Google

den ist. Es ist dann $\lambda = 2\,l$, wenn l die Länge des Fangedrahtes bezeichnet. Diese Vorrichtung sollte nach den Worten Slabys dazu dienen, „die noch unbekannte Frequenz des Senders zu bestimmen". Eine damals von Slaby und Seibt (mit Funkenmikrometer) aufgenommene entsprechende Spannungsverteilungskurve, bei welcher 100—0 den vertikalen Ast und 0—200 den horizontalen Ast des Fangedrahtes darstellt, zeigt Fig. 2. Hierbei wurde ein symmetrischer Hertzscher Oszillator verwendet, der einen unsymmetrischen Empfänger obiger Art erregte. Mit 0 ist wie oben die Knickstelle bezeichnet. Aus der Figur ist zu ersehen,

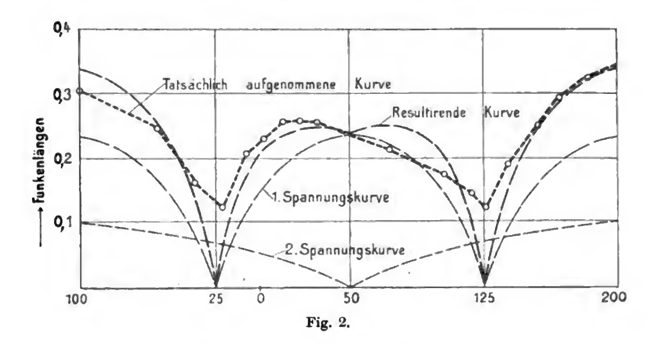


Fig. 2.

daß die tatsächlich aufgenommene Kurve der elektrischen Feldintensität ähnlich ist der resultierenden berechneten Kurve.

Der nächste Fortschritt auf dem Gebiete der Frequenzmessung ist durch die Fig. 3 dargestellt (Protokollbuch von A. Slaby vom 18./9. 1900). Bei den gezeichneten Abmessungen bildeten sich im Empfänger ungefähr an den Stellen B, C und G Knoten der Spannungsverteilung aus. In A, D, E und F traten Bäuche auf, und zwar war der Spannungsbauch am freien Ende bei F am größten. Bei diesen Untersuchungen konnte auch die Rückwirkung des Leiters FGE auf das System $ABCDE$ nachgewiesen werden. Da die Drahtlänge EGF in ihrer Handhabung ziemlich unbequem war, wickelte Slaby diese spulenförmig auf und fand eine weitere wesentliche Spannungssteigerung. Die Spule, die aus diesem Grunde Multiplikator genannt wurde, konnte nunmehr ohne weiteres zur Abstimmung des Empfangssystems auf das Sendesystem benutzt

Digitized by Google

werden. Wenn somit die Spule in Wellenlängen oder Frequenzen geeicht war, konnten die diesbezüglichen Konstanten des Senders gefunden werden.[×]

Diese ersten Slabyschen Frequenzmeßvorrichtungen sind aus dem Grunde ausführlich mitgeteilt, weil sie sowohl für die abge-

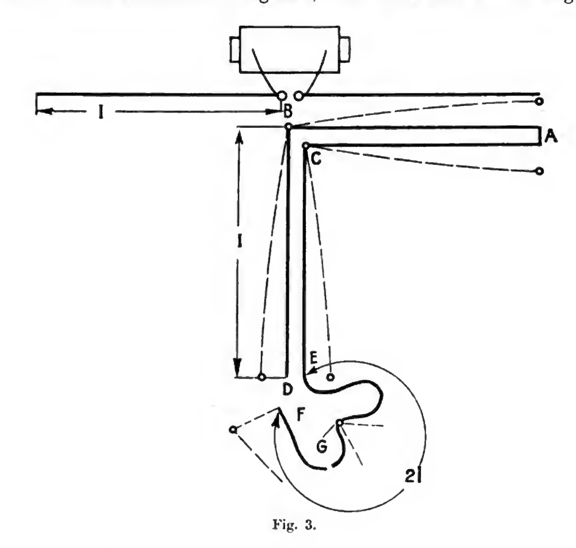


Fig. 3.

stimmte Telegraphie, wie auch für die meisten der folgenden Meßvorrichtungen nicht ohne Bedeutung geblieben sind.

Die Wichtigkeit der Frequenzmessung, insbesondere bei Anwendung einer derartig einfachen Spulenanordnung, für die Praxis wurde von Graf Arco zuerst erkannt. Die weitere Ausbildung der „Resonatorspule zur Wellenmessung" erfolgte daher unter seiner

[×] Die Tatsache, daß die Slabysche Multiplikatorspule durch Arbeiten von Tesla und Oudin vorbekannt war, ändert an dem Wert der Erfindung kaum etwas, denn einmal waren die Arbeiten der genannten Forscher insbesondere in Deutschland wenig bekannt, und zweitens arbeitete Tesla mit anderen Schwingungszahlen als in der Strahlentelegraphie üblich, und Oudin benutzte seine Spulenanordnung lediglich zu medizinischen Zwecken.

Digitized by Google

Leitung in der funkentelegraphischen Abteilung der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft durch Scheller und Rendahl in den Jahren 1901/03.

Trotz ihrer Einfachheit war die Resonatorspule von vornherein zu vielseitigen Zwecken zu benutzen. So gelang es zuerst Scheller im Winter 1902, Kopplungskurven aufzunehmen, und zwar unter Benutzung von Spulen, die in der Art von Gewichtssätzen zusammengestellt wurden. Die nächste Verbesserung war die, daß der bei den ersten Versuchen benutzte Fritter bei der Abstimmung durch eine gleichwertige Kapazität ersetzt wurde. Damit war ein definiertes Schwingungssystem gegeben (siehe Fig. 35—43 im Abschnitt: Die Resonatorspule von Arco-Slaby). Diesen Änderungen schlossen sich noch weitere Modifikationen der Resonatorspule an. So wurden an gegeneinander versetzten Stellen der Windungen diese für ein kurzes Stück von der Isolation befreit und an einer der so entstandenen blanken Kupferstellen ein Nagel als beweglicher Spulenkontakt zwischen die Windungen gesteckt. Daraufhin wurden Schiebespulen ausgebildet, bei denen an einer bestimmten Stelle die Isolation vom Spulendraht entfernt wurde, und auf deren blankem Draht ein Schiebekontakt den Strom abnahm. Hierbei war indessen die Gefahr des Kurzschlusses zwischen zwei Windungen vorhanden.

Es sind damals auch schon Dämpfungsmessungen ausgeführt worden, indem drei passend zueinander liegende Punkte der Resonanzkurve nach einer später zu beschreibenden Methode verwendet wurden. Derart erhaltene Resultate sind natürlich nur insoweit richtig, als die Resonanzkurve als Funktion von J^2, d. h. mit Hilfe von Energieanzeigern gefunden wurde.

Die bisher gekennzeichneten Wellenmeßvorrichtungen sind keine eigentlichen Resonanzsysteme im Sinne von Lodge und Bjerknes, denn bei dem Slabyschen Empfänger hat man lediglich die Drahtkapazität gegen Erde und bei der Resonatorspule war, abgesehen von der Spulenkapazität, nur eine kleine Fritterkapazität vorhanden. Die Folge davon waren mehr oder weniger stark gedämpfte Systeme, die gerade zu Abstimmzwecken unerwünscht sind. Braun hat in seinem Vortrage vom 16./11. 1900 diese Erkenntnis ausgesprochen, welche zu den Wellenmessern von Zenneck und von Drude und zur Konstruktion des Franke-Dönitzschen Wellenmessers geführt hat, deren Dämpfung erheblich geringer und deren Empfindlichkeit bedeutend größer als die der Slaby-Anordnung ist.

Zenneck konstruierte für Vorlesungs- und Übungszwecke unter

Digitized by Google

Berücksichtigung der Arbeiten von Hertz und Bjerknes im Winter 1901/02 einen Frequenzmesser entsprechend Fig. 4. Der Schwingungskreis bestand aus einer oder zwei Leydener Flaschen aus Flintglas *a b*, einem Drahtrechteck *c* und einem verschiebbaren, mit Ablesevorrichtung versehenen Bügel *d*, der eventuell auch aus einer Spule bestehen konnte. Die Eichung dieses Frequenzmessers geschah teils durch Versuche, teils durch Rechnung, wobei für verschiedene Kondensatoren Eichtabellen aufgestellt wurden. Als Indikationsinstrument verwandte Zenneck Bolometer oder Hitzdrahtthermometer für Meßzwecke und Funkenstrecken oder Geißlerröhren für Demonstrationen.

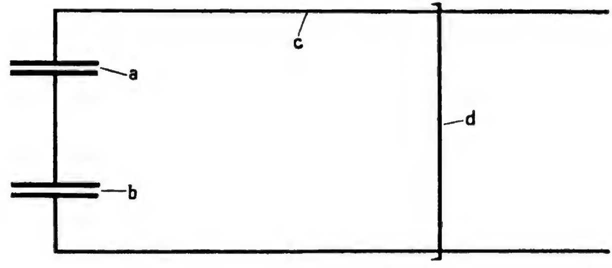


Fig. 4.

Ein derartiger Zenneckscher Frequenzmesser wurde bei Versuchen, die Braun, Brandes und Mandelstam im Frühjahr 1902 auf den Straßburger Forts anstellten, benutzt. Die Methode bewährte sich ausgezeichnet und gab insbesondere über die Schwingungsvorgänge im Luftleitergebilde Aufschluß.[8]

Auch Wertheim Salomonson benutzte schon 1900 einen, eine veränderliche Kapazität und ein Hitzdrahtinstrument enthaltenden Resonanzkreis, um u. a. die Kapazität des menschlichen Körpers festzustellen.

Etwa um dieselbe Zeit untersuchte Mandelstam im physikalischen Institut der Universität Straßburg Schwingungszahlen elektrischer Wellen mit Hilfe eines Stromkreises, in welchem sich eine Selbstinduktion und ein Thermometerdraht einerseits und ein induktanzloser (elektrolytischer) Widerstand und ein zweiter Thermometerdraht andererseits befand. Indem er die Wärmewirkungen in beiden Drähten gleich machte, suchte er einen Ohmschen Wider-

Digitized by Google

stand, welcher ebenso groß wie der scheinbare induktive Widerstand war, wodurch bei gegebenen Selbstinduktionen die Schwingungszahlen festgestellt werden konnten.

Diese Methode zeigte verhältnismäßig große Differenzen zwischen den von der Theorie geforderten und den durch das Experiment festgestellten Werten, indem die durch Versuche ermittelten Werte größere Periodenzahlen ergaben, als sich theoretisch erwarten ließ.

Wohl infolge des günstigen Ausfalls der Versuche und Anordnungen Brauns und Zennecks wandte die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, System Prof. Braun und Siemens & Halske, ihre Aufmerksamkeit dem genannten Meßsystem zu, und unter Verwendung des Köpselschen variablen Drehkondensators, welcher ähnlich dem veränderlichen Kondensator von Shoemaker war, entstand der von Franke und Dönitz ausgebildete Wellenmesser mit stufenweise veränderlicher Selbstinduktion und kontinuierlich variabler Kapazität. Dieser Frequenzmesser, der u. a. schon im Sommer 1902 von Köpsel bei Abstimmungsversuchen in Pola benutzt wurde und der erst im Jahre 1903 von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, System Telefunken, (nach der Fusion) auf den Markt gebracht wurde, hatte gegenüber seinen technischen Vorgängern sehr beträchtliche Vorteile, im wesentlichen den der größeren Empfindlichkeit und der Möglichkeit, teilweise objektive Resonanzkurven aufzunehmen. Hierzu kommen noch proportionale Teilung und ein sehr großer Meßbereich bei einfacher Bedienung. Die durch die Arbeiten von Lodge,[9] Bjerknes,[10] Oberbeck,[11] Rieß, Lord Kelvin und anderen bekannt gewordenen Vorrichtungen waren hierbei in besonders günstiger Weise angewendet. Technische und physikalische Frequenzmessungen, sowie Bestimmung der Kapazität und annähernd auch der Dämpfung waren mit e i n e m Apparate möglich geworden.

Etwas später, als die ersten Beschreibungen des Franke-Dönitzschen Wellenmessers veröffentlicht wurden, trat Slaby[12] mit einem neuen Frequenzmesser hervor, dem sogenannten Multiplikationsstab. Derselbe ist aus den Spulenuntersuchungen Slabys, insbesondere aus den schon erwähnten Versuchen über Spannungserhöhung an Spulen hervorgegangen. Während aber dieser außerordentlich handlich und billig herzustellende Multiplikationsstab für genaue Laboratoriumsuntersuchungen wohl weniger in Betracht kommt, scheint er geeignet zu sein, ein Eichnormal zu bilden, mit dem andere technische Frequenzsysteme von Zeit zu Zeit nachgeeicht werden. Bei Anbringung einiger Änderungen an der jetzigen Form,

Digitized by Google

die geringere Dämpfung und größere Konstanz verbürgen (luftverdünnte Röhre als Resonanzindikator, und ev. Wicklung und Einschluß der Spule im Vakuum), dürfte ein bequemes Eichnormal, wenigstens wenn man die Erdung definieren kann, geschaffen sein.

Einige geringere Übelstände des Franke-Dönitzschen Wellenmessers, insbesondere der des großen Kondensators, sollten durch die Meßkonstruktion von Rendahl beseitigt werden. Es wurden hierbei variable, gegeneinder verdrehbare Selbstinduktionsspulen so angeordnet, daß bei verschiedenen Resonanzstellungen die Lage der Isochronität annähernd gewahrt wurde. Es haben sich jedoch der Rendahlschen Frequenzmeßvorrichtung, die aus dem Jahre 1904 stammt, Fabrikationsschwierigkeiten in den Weg gestellt, gegenüber denen die Vorteile der Vorrichtung mit kontinuierlich variabler Selbstinduktion nicht genügend groß waren. Ferner sind bei diesem Frequenzmesser, wie bei allen vorhergehenden, weder Vorrichtungen zur Konstanz der Kopplung zwischen Erregerkreis, Frequenzmesser und zu messendem System, noch zur Konstanthaltung der Dämpfung des Meßkreises vorhanden.

Auch an Versuchen, für rein wissenschaftliche, experimentelle Zwecke, Frequenzmesser zu konstruieren, hat es nicht gefehlt. Von diesen ist der Drudesche Frequenzmesser[13] aus dem Jahre 1902, ebenso wie auch der ihm zeitlich voraufgehende Zennecksche Frequenzmesser bemerkenswert, weil er (unter Berücksichtigung der Arbeiten von Hertz und Bjerknes) ein genau definiertes System besitzt. Auf Dämpfungs- und Widerstandsverminderung und Konstanthaltung der Kopplung ist beim Drudeschen Resonanzkreis indessen nicht besonders Rücksicht genommen. Durch die Anordnung des Verfassers soll dies erzielt werden.

Die deutschen Arbeiten haben auf die englischen und amerikanischen Erfinder befruchtend eingewirkt. Stellenweise sind auch ganz neue Gesichtspunkte zum Ausdruck gekommen, wie z. B. bei dem geeichten Oszillator von Shoemaker,[14] der im November 1902 sein diesbezügliches amerikanisches Patent anmeldete. Shoemaker wendet einen Sendekreis mit fester Selbstinduktion, Funkenstrecke und passender Erregung, sowie einen stetig veränderlichen geeichten Kondensator an. In den zu messenden Kreis ist ein Indikator eingeschaltet, welcher die Abstimmung kenntlich macht. Die Eichung des Oszillators erfolgt nach Angabe von Shoemaker mittels des Lechersystems.

Ein modifiziertes Paralleldrahtsystem ist auch das von de Forest[15] 1903 in Vorschlag gebrachte. Die Lecherdrähte sind bei

Digitized by Google

diesem System verdrallt und so angeordnet, daß sie ein Minimum von Platz in Anspruch nehmen.

Zeitlich folgt diesem der Wellenmesser von Ives,[16] der, ähnlich wie der geeichte Oszillator von Shoemaker, aber einen doppelten, symmetrischen Schwingungskreis mit stetig variabler Selbstinduktion und stufenweise veränderlicher Kapazität darstellt. Auch hier wird in das zu messende System ein Resonanzindikator eingeschaltet.

Von besonderem Interesse ist eine Frequenzmeßvorrichtung von Fleming,[17] welche von der Marconi-Gesellschaft fabriziert wird. Diese Meßvorrichtung, welche von Fleming Cymometer genannt wird, besteht aus einem geeichten Schwingungssystem mit kontinuierlich veränderlicher Kapazität und stufenweise veränderlicher Selbstinduktion in Verbindung mit einem Spannungsindikator als Resonanzanzeiger. Bei zeitlicher Betrachtung der verschiedenen bekannt gewordenen Wellenmeßvorrichtungen würde das Cymometer unter das Franke-Dönitzsche Wellenmesserpatent, welches allerdings gegenüber der Anordnung von Bjerknes, Zenneck und anderen Autoren patentrechtlich kaum wesentlich neues bietet, fallen, wenn an Stelle des von Fleming angewandten Spannungsindikators ein Stromindikator gesetzt würde. Die Anwendung eines Spannungsindikators hat aber nur dann einen Vorzug, wenn die Dämpfung dieses Indikators erheblich kleiner als die eines Luftthermometers, Wattzeigers usw. ist. Die Strahlungsdämpfung eines Cymometers dürfte größer sein, als die eines geschlossenen Resonanzkreises mit kleiner Selbstinduktion und großer Kapazität.

Die von Lodge-Muirhead und Rochefort angewandten Wellenmesser beruhen, soweit dem Verfasser bekannt ist, gleichfalls auf dem Resonanzprinzip und dürften mehr oder weniger dem System mit geschlossenem Kapazitätskreise ähnlich sein.

In letzter Zeit sind noch drei von den obigen abweichende Frequenzmeßmethoden angegeben worden, die indessen noch nicht die Probe der Praxis bestanden haben. Es sind dies die Methoden von Eisenstein,[18] das Wägungsverfahren von Peukert[19] und ein Verfahren von v. Traubenberg. Eisenstein wendet das Nernstsche Prinzip zur Bestimmung von Selbstinduktionskoeffizienten an, indem als Resonanzindikator eine Glimmlichtoszillographenröhre Anwendung findet.

v. Traubenberg benutzt die Eigenschaft des Eisens, bei Hochfrequenz seinen Widerstand sehr wesentlich mit der Periodenzahl zu verändern, zur Konstruktion eines Wellenmessers. Das hierbei in Anwendung kommende Prinzip ist ungefähr folgendes: Parallel

Digitized by Google

zu einem Eisendraht wird ein für verschiedene Periodenzahlen möglichst konstanter Widerstand gelegt und in beiden Stromzweigen das Verhältnis der Ströme gemessen. Die Art der Stromverzweigung ist nun bei Anwendung von Eisen oder ähnlichen Widerstandsmaterialien außerordentlich abhängig von der Wechselzahl, und kann also ohne weiteres als Mittel zur Feststellung der Wechselzahl und somit der Wellenlänge benutzt werden.

Während ein solcher Wellenmesser ein einfaches Anzeigeinstrument ohne jedesmaliges Aufsuchen der Wellenlänge durch Resonanz darstellt, ist er naturgemäß für Messungen von Kopplungen, Dämpfungen usw. nicht brauchbar, ebenso wie alle Meßsysteme, die auf einer mit Stromverzweigung verbundenen Nullmethode beruhen, für Kopplungs- und Dämpfungsmessungen ungeeignet erscheinen.

Zu diesen Meßverfahren kommt neuerdings ein Frequenzmesser von Scheller hinzu,[×] welcher mit konstanter Kopplung und konstanter Dämpfung arbeitet.

Dieser Frequenzmesser, welcher selbstverständlich auch als geeichter Sender gebraucht werden kann, besteht aus der Kombination einer allmählich veränderlichen Selbstinduktion mit einer kontinuierlich variablen Kapazität, wobei die die Selbstinduktion bildenden Spulen mit den beweglichen Kondensatorplatten mittels einer durchgehenden Achse verbunden sind, so daß also mit einem Handgriff sowohl die Selbstinduktion, wie die Kapazität verändert wird. Da von der Nullstellung der Selbstinduktion aus mit zunehmender Drehung die Selbstinduktion sich nicht vollkommen kontinuierlich verändert, sind die Kondensatorplatten entsprechend gestaltet, so daß die Gesamtwirkung die einer gleichmäßigen Veränderung ist. Mit dem Kondensator ist ein Energieanzeiger oder ein Spannungsmesser nach Art eines Elektrometers verbunden. Um die Kopplung konstant zu halten, ist außerhalb des Wellenmessers eine Spule angeordnet, auf welche induziert oder, bei Sendeschaltung des Wellenmessers, mit welcher erregt wird. Diese Spule ist mittels eines flexiblen Kabels mit einigen Windungen verbunden, welche in gewissem Abstande auf die Selbstinduktionswicklung im Wellenmesser aufgebracht sind. Durch die angegebenen Mittel wird eine vollkommen konstante Kopplung und eine gleichbleibende Energieentziehung durch das Anzeigeinstrument bewirkt.

Da die fortschreitende Technik stets weniger gedämpfte Sender- und Empfangskreise ausbildet und auch die Kopplung jetzt gegen

× Bisher nicht veröffentlicht.

Digitized by Google

früher loser bemessen wird, kommt man heute mit stark gedämpften Meßinstrumenten, bei denen außerdem die Dämpfung variabel ist, wie z. B. dem Franke-Dönitzschen Wellenmesser nicht mehr aus. Aus dieser Erkenntnis heraus wurde von Hahnemann der Universalwellenmesser der C. Lorenz Aktiengesellschaft konstruiert, welcher in überaus handlicher, leichter Ausführung ein sämtliche Messungen an Hochfrequenzsystemen gestattendes, außerdem konstant und gering gedämpftes Meßsystem darstellt.

Außer den reinen Frequenzmessern, die direkt benutzt werden, gibt es noch eine Reihe von sogenannten Fernwellenmessern. Hierzu läßt sich schließlich fast jeder der vorgenannten Frequenzmesser gebrauchen. Im nachstehenden ist indessen nur der erste derartige Vorschlag der Frequenzmessung, der von Scheller herrührt und von Graf Arco[20] ausgeführt wurde, wiedergegeben. Mit dieser Anordnung kann die Wellenlänge eines entfernten Senders sehr genau bestimmt werden. Das Verfahren kann unter anderem auch zum Stören feindlicher Stationen von Wert sein.

Entsprechend dem Zwecke, dem die betreffenden Meßvorrichtungen in der Hauptsache dienen, kann man die Frequenzmesser einteilen in:

1. Technische Frequenzmesser.

Bei diesen wird gefordert: direkte Angabe der Frequenz, bzw. Wellenlänge, möglichst einfache, leicht zu erlernende Bedienung, tunlichst große Empfindlichkeit in elektrischer Beziehung und möglichst geringe Empfindlichkeit in mechanischer Hinsicht, gute Transportfähigkeit, ein möglichst großer Meßbereich, Eichfähigkeit und Unveränderlichkeit.

2. Physikalische Frequenzmesser.

Bei diesen Anordnungen müssen die elektrischen Verluste ein Minimum betragen. Das System muß bei Unveränderlichkeit genau definiert und berechenbar sein. Der Eichfehler muß kleiner als 0,5 % sein.

3. Geeichte Frequenznormale, Stationsprüfer.

Diese Normale sollen zum Nacheichen dienen und müssen praktisch absolut unveränderlich sein. Die Wellenlänge derartiger Normale braucht selbstverständlich keine ganze Zahl zu sein, doch ist es wesentlich, daß für jede Eichstation eine Reihe von Normalen in geeigneten Abständen vorhanden ist, zwischen denen

Digitized by Google

die Unterteilungen als proportional angesehen werden können. Für kleinere Stationen dürften wohl drei Normale genügen.

Für Normale kommen in Betracht Spulen von der Art der Multiplikationsstäbe, die durch besondere Vorrichtungen (durch Einschließen im Vakuum) konstant gehalten werden, und solche, die aus einer geeichten Spule und einem unveränderlichen Luftkondensator bestehen.

Den Frequenzmessern reihen sich die Dämpfungsmeßvorrichtungen an. Für die praktisch brauchbarste Methode der Dämpfungsmessung ist die Aufnahme der Resonanzkurve maßgebend, da aus dieser, wenn als Ordinaten Energiewerte aufgetragen sind, direkt die Dämpfung bestimmt werden kann.

Die ersten Resonanzkurven rühren von Hertz[21] her, die schon gute Schlüsse auf Dämpfungen zuließen, obwohl Hertz nur mit dem Funkenmikrometer gearbeitet hat.

Die ersten genaueren Dämpfungsmessungen wurden sodann von Bjerknes,[22] dem Mitarbeiter von Hertz, ausgeführt. Aus den Bjerknesschen Arbeiten, insbesondere aus den im Jahre 1895 veröffentlichten Untersuchungen ist alles Wesentliche für Dämpfungsmessungen, soweit dieselben mit der Resonanzkurve verknüpft sind, zu entnehmen.

Während nun die Versuche von Bjerknes zunächst nicht direkt fortgesetzt wurden — wenn man von Lagergreen absieht — gelang es 1896 Rutherford,[23] mittels des Magnetdetektors Dämpfungsmessungen, die die Abhängigkeit des Dekrements von der Funkenlänge zeigten, auszuführen. Seine Untersuchungen wurden von Miß Brooks[24] in den darauffolgenden Jahren ergänzt und erweitert.

Bald darauf maß Zenneck[25] mit der Braunschen Kathodenröhre das Dekrement von stark gedämpften Oszillatoren, deren Wechselzahlen bis zu 10^6 pro Sek. betrugen. Seine Methode, die namentlich für Demonstrationen in Betracht kommt, zeigte deutlich, daß für mittelmäßig und stark gedämpfte Schwingungskreise die Abnahme der Amplituden schneller erfolgt, als der Exponentiallinie entspricht.

Für sehr stark gedämpfte Systeme ohne Funkenstrecke konstruierte bald darauf Tallqvist[26] eine Vorrichtung, um die Dämpfung festzustellen. Er fand hiermit eine gute Bestätigung der Thomson-Kirchhoffschen Theorie.

Die nunmehr folgenden Methoden und Ausführungen beruhen namentlich auf den Bjerknesschen Unterlagen, da die beiden

Digitized by Google

wesentlichen Faktoren, Integraleffekt und Resonanzkurve zugrunde gelegt werden.

Eine Erweiterung der Bjerknesschen Theorie bedeutet die Arbeit von Drude.[27] Sehr wesentliche, wenn auch zum Teil nicht ganz richtige Resultate hatten die Untersuchungen von Rempp,[28] welcher Versuche an Kondensatorkreisen mit Funkenstrecke anstellte, zur Folge. Diese Ergebnisse werden dadurch ferner beschränkt, daß der Widerstand des Kondensatorkreites auf ein Minimum herabgesetzt ist, und daß nur Flintglasflaschen untersucht wurden.

Die ersten Dämpfungsmessungen für die Praxis der Strahlentelegraphie wurden 1905/06 im Laboratorium der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie von v. Traubenberg, Hahnemann, Lange und Adelmann ausgeführt.

Von Interesse sind die Meßanordnungen der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H., die zum größten Teil von Hahnemann[29] ausgebildet worden sind. Diese Methoden gestatten nicht nur, die Dekremente von Oszillatoren und Resonatoren zu messen, sondern auch von Luftleitergebilden, Kondensatoren, Spulen usw. Auf gekoppelte Systeme sind diese Verfahren indessen bisher nicht ausgedehnt worden.

Letzteres hat Brandes[30] neuerdings getan, und zwar für ein mit einem Flaschensystem gekoppeltes, mit Gegengewicht versehenes Luftleitergebilde. Die von ihm angewandte Kopplung war allerdings so lose, daß nur eine Welle vorhanden war, daß somit direkt die Bjerknessche Anordnung benutzt werden konnte.

Unabhängig von den deutschen Arbeiten hat Tissot[31] in Frankreich die Bjerknessche Theorie weiter ausgearbeitet und vervollkommnet. Tissot hat mit seiner Konstruktion, bei der er nach dem Vorgange von Rempp ein Bolometer als Anzeigeinstrument anwendet, eine sehr große Zahl von Luftleitern auf Schiffen und auf dem Lande gemessen und gute Übereinstimmung der Versuchsresultate mit der Theorie gefunden. Eine besonders einfache graphische Meßvorrichtung Tissots wird sich vielleicht im Laboratorium Eingang verschaffen.

Neuerdings hat auch Fleming[32] für die Marconi-Gesellschaft sein Cymometer mit einem ein Thermoelement enthaltenden Kurzschlußbügel versehen, der bei Dämpfungsmessungen mit dem Cymometer verbunden wird und der die Aufnahme von Resonanzkurven gestattet. Nach den Bjerknes-Drudeschen Formeln wird dann die Dämpfung berechnet. Für Montagen, für welche dieser Apparat offenbar in erster Linie gedacht ist, dürfte er indessen

Digitized by Google

wegen der immerhin komplizierten Rechnungen kaum in Betracht kommen.

Die bisher erwähnten Dämpfungsmesser und Methoden sind anwendbar für einfache Schwingungssysteme. Für gekoppelte Systeme, die gerade für die Praxis von Interesse sind, mit mehr oder weniger weit auseinanderliegenden Wellen sind diese Verfahren nicht ohne weiteres anwendbar. Es erscheint aber nicht ausgeschlossen, durch zwei auf je eine der vorhandenen Wellen abgeglichene Resonanzkreise (wobei im allgemeinen die Kopplung zwischen jedem der Resonanzkreise mit dem Luftleitererregersystem verschieden zu bemessen ist) die einzelnen Wellen aufzunehmen und daraus die Dämpfung jeder Welle zu bestimmen.

Da es schließlich für die Kontrolle der Arbeitsweise eines mit Funkenstrecke arbeitenden Schwingungssystems außer der Kenntnis der Frequenz und Dämpfung von Wichtigkeit ist, die genaue Funkenzahl zu kennen, ist nach Angabe Schellers von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. unter Anwendung des Resonanzprinzips ein Zähler konstruiert worden, der, ohne die Konstanten des Schwingungskreises zu verändern, direkt die Funkenübergangszahlen in einer bestimmten Zeit angibt.

Durch die sich neuerdings in der Strahlentelegraphie einführenden ungedämpften elektrischen Wellen werden die Meßverfahren für die Hochfrequenztechnik eine wesentliche Umgestaltung erfahren. So werden sich z. B. die Dämpfungsmessungen dadurch bedeutend einfacher gestalten, daß man in einem Schwingungskreise die in ihm hervorgerufene Wattspannung und den Strom mißt. Dann ergibt sich mit Hilfe der einfachen Wechselstromgesetze ohne weiteres der Ohmsche Widerstand des Stromkreises und somit auch eindeutig seine Dämpfung.

Ein interessantes Meßinstrument[×] zum Zwecke, die Wattspannung in einem beliebigen Hochfrequenzkreise zu messen, hat Hahnemann angegeben. Diese Methode besteht darin, an den Punkten eines Hochfrequenzkreises, zwischen welchen Wattspannungen hervorgerufen werden, ein Meßinstrument anzulegen, welches aus einem Voltmeter in Verbindung mit variabler Selbstinduktion oder Kapazität besteht. Durch Abstimmung des durch das Instrument und den zwischen den beiden Anschlußpunkten liegenden Teil des untersuchten Stromkreises gebildeten Hoch-

[×] Bisher nicht veröffentlicht.

Digitized by Google

frequenzkreises auf die in dem Stromkreise vorhandenen Schwingungen ist es möglich, am Voltmeter nur Wattspannung zu erhalten und so diese gesuchte Wattspannung festzustellen. Schaltet man beispielsweise dieses Instrument an einen Bogenlampengenerator, an welchen ein Kreis aus Selbstinduktion und Widerständen angeschlossen ist, und in welchem durch die Bogenlampe Hochfrequenzschwingungen erzeugt werden, so kann man mit Hilfe des beschriebenen Meßapparates die durch die Bogenlampe erzeugte Wattspannung messen, ohne durch die Gleichstromspannung, die am Flammenbogen vorhanden ist, gestört zu werden. Hat man z. B. eine Hochfrequenzmaschine, deren Klemmspannung außer der Wattspannung noch wesentlich aus einer induktiven Spannung besteht, so genügt es ebenfalls, dieses Instrument anzuschalten, den Instrumentenkreis auf die Wechselzahl der Maschine abzustimmen und somit an das Voltmeter eine reine *EMK.* zu bringen und die in der Maschine erzeugte Wattspannung festzustellen.

Es ist hierbei natürlich notwendig, daß sowohl die Dämpfung der verwandten Hochfrequenzmittel im Instrumente, als auch die selbstinduktiven Größen des verwandten Hitzdrahtvoltmeters Berücksichtigung finden. Jedoch ist ohne weiteres ersichtlich, daß durch geeignete Wahl eines möglichst selbstinduktionslosen Widerstandes für das Voltmeter, sowie durch Verwendung von tunlichst verlustlosen Kondensatoren und Selbstinduktionsspulen der Meßapparat ohne besondere Schwierigkeiten hergestellt werden kann. Während für kleine Stromstärken die bekannten Hitzdrahtinstrumente auch für die in der Technik der ungedämpften Wellen vorkommenden Frequenzen Verwendung finden können, muß man für große Stromstärken geshuntete Instrumente verwenden. Hierbei muß man jedoch berücksichtigen, daß das Verhältnis des durch den Hitzdraht fließenden Stromes zu dem, der durch den Shunt fließt, bei den in Betracht kommenden Wellenlängen konstant ist.

Dies kann man dadurch erreichen, daß man zur Stromverteilung Selbstinduktionsspulen benutzt, deren Wechselstromwiderstand wesentlich größer ist, als der in Betracht kommende Ohmsche Widerstand in beiden Stromzweigen. Verwendet man Instrumente mit verhältnismäßig hoher Ohmzahl, so kann man durch geeignete Konstruktion die Selbstinduktion des Shuntes, wie auch die des von ihm abgezweigten Instrumentenstromkreises so klein machen, daß das Verhältnis der Ohmschen Widerstände bei den in Betracht kommenden Wellenlängen die Stromverteilung genügend genau bestimmt.

Digitized by Google

Literatur.

[1] Lodge: Nature. Vol. 21, p. 368. 1890. — [2] Lecher: Wied. Ann. 41, p. 850. 1890. — [3] Ives: Electrical World and Engineer. Vol. 43, p. 1074. 1904. — [4] Gehrcke: E.T.Z. 26, p. 697. 1905. — [5] Arons: Wied. Ann. 45, p. 553. 1892. — [6] Righi: Rendic. della R. Acc. di Bologna. 29./3. 1898. — [7] Slaby: Vorlesung über hochfrequente Wechselströme. Wintersemester 1900/01. — [8] Braun: Ann. d. Phys. 8, p. 211. 1902. — [9] Lodge: „Neueste Anschauungen über Elektrizität," p. 376 ff. Leipzig 1896. — [10] Bjerknes: Wied. Ann. d. Phys. 44, p. 74. 1891. Wied. Ann. 55, p. 121. 1895. — [11] Oberbeck: Wied. Ann. 55. p. 623. 1895. — [12] Slaby: E.T.Z. 24, p. 1007. 1903. — [13] Drude: Ann. d. Phys. 9, p. 611. 1902. — [14] Shoemaker: Amerik. Patent Nr. 717774 vom 10./11. 1902. — [15] De Forest: D. R. P. 157346, ang. 4./3. 1903. D. R. P. 161898, ang. 4./3. 1903. — [16] Ives: Electrical World and Engineer. Vol. 43, p. 1074. 1904. — [17] Fleming: Proceedings of the Royal Society. Vol. 74, 505, p. 488. 1905. Phil. Mag. Ser. (6). Vol. 9, p. 758. 1905 etc. — [18] Eisenstein: D. R. P. 177251. ang. 4./10. 1905. — [19] Peukert: E.T.Z. 27, p. 768. 1906. — [20] Graf Arco: D. R. P. 165740, ang. 18./10. 1904. — [21] Hertz: Wied. Ann. 31, p. 421. 1897. — [22] Bjerknes: Wied. Ann. 44, p. 74. 1891. Wied. Ann. 55, p. 121. 1895. — [23] Rutherford: Trans. Roy. Soc. Juni 1896. — [24] Brooks: Phil. Mag. (6) II, p. 92. 1901. — [25] Zenneck: Ann. d. Phys. 7, p. 801. 1902. — [26] Tallqvist: Ann. d. Phys. 9, p. 1083. 1902. — [27] Drude: Ann. d. Phys. 13, p. 525. 1904. — [28] Rempp: Ann. d. Phys. 17, p. 627. 1905. — [29] Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H.: D. R. P. 176840. ang. 11./12. 06, ert. 5./9. 06. Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H.: D. R. P. 179828, ang. 11./12. 06, ert. 8./11. 06. — [30] Brandes: Inaug.-Diss. Straßburg 1906. — [31] Tissot: Étude de la résonance des Systèmes d'Antennes dans la Télégraphie sans fils. Paris 1906. — [32] Fleming: Preisliste der Marconi Wireless Telegraph Co. 1906.

Digitized by Google

Erster Abschnitt.

Frequenzmesser.

1. Anzeigevorrichtungen für elektromagnetische Schwingungen, Resonanzindikatoren.

A. Der Hertzsche Resonator.

Die erste Anzeigevorrichtung zum Nachweis von Schwingungen in einem in Schwingungen versetzten System wurde von Hertz[1] im Jahre 1887 mitgeteilt. Seine Anordnung ist in Fig. 5 in etwas modifizierter Form wiedergegeben. *a* stellt einen kleinen Induktor dar, *b* eine Funkenstrecke, *c* sind zwei gleich lang bemessene Drähte, die an ihren der Funkenstrecke entgegengesetzten Enden mit Konduktoren *d* versehen waren. Letztere dienten im wesentlichen nur dazu, die Kapazität des Erregers zu vergrößern, können daher auch fortbleiben. Der Resonator, bestehend aus Mikrometerfunkenstrecke *e* und den gleich langen und gleich starken Drähten *ff*, hatte ursprünglich nicht die in Fig. 5 gezeichnete Form, sondern bestand aus einem Drahtrechteck, an dessen einer, offenen Seite eine Mikrometerfunkenstrecke eingefügt war.

Eine dem Empfangssystem entsprechende zweckmäßige Ausführungsform gibt Fig. 6 wieder.

Der Vorgang bei obiger Anordnung ist folgender:

Wenn die Drähte *f* dieselbe Länge besitzen, wie die Drähte *c*, d. h., wenn beide Systeme aufeinander abgestimmt sind, treten, sobald der Oszillator in Tätigkeit ist, in *e* Funken auf infolge der Potentialdifferenzen, welche sich aus der Verteilung der elektrischen Feldintensität und der oszillatorischen Veränderung derselben ergeben. Die Funken in *e* erreichen ihr Maximum, wenn *ff* parallel *cc* ist, und wenn Oszillator und Resonator geringe Entfernung besitzen.

Digitized by Google

Die obige Anordnung soll in der Hauptsache über die Schwingungsverhältnisse des Empfangssystems Aufschluß gewähren. Der durch die Funkenstrecke erregte Draht *c* schwingt mit einer Eigenschwingung derart, daß im Augenblick, wo die Funkenstrecke durch einen Funken leitend überbrückt ist, sich Spannungsbäuche (Maxima der elektrischen Feldintensität) an den Enden, und Knoten in der Mitte, in der Funkenstrecke, ausbilden. Der Strombauch (Maximum der magnetischen Feldintensität) liegt in der Funkenstrecke, die

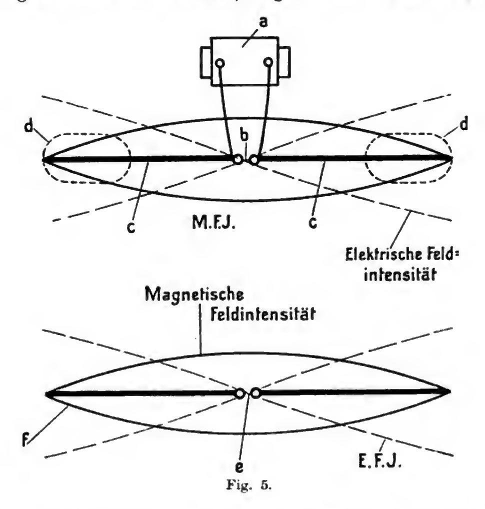


Fig. 5.

Knoten in den Drahtenden. Dieselben Verhältnisse gelten für den Resonator *ef*, wenn dieser ungefähr die gleichen Dimensionen wie der Oszillator *bc* hat und, nachdem ersterer von letzterem erregt worden, mithin im allgemeinen wenn in *e* Funken übergehen.

Der Nachweis der Spannungsbäuche und Knoten erfolgt am besten mit einer Funkenstrecke, Heliumröhre, unterlegtem lichtempfindlichen Papier, wie z. B. Papier, auf welches Baryum-Platin-Cyanür-Kristalle aufgebracht sind, unter den erregten Draht usw., der des Stromverlaufes mit einem Hitzdrahtinstrument, Bolometer, Thermoelement usw. Die Funken im Resonator nicht direkt zu beobachten, sondern die Funkenstrecke durch eine evakuierte

Digitized by Google

Röhre oder ein photographisches Präparat zu ersetzen, ist u. a. von Dragoumis[2] vorgeschlagen worden.

Auch Explosionswirkungen sind angewendet worden; z. B. ließen Lucas und Garret[3] den Funken im Resonator in Wasserstoff und Chlor überschlagen, wobei unter Knall das Gemenge explodierte.

Eingehende Messungen, die über Strom- und Spannungsverteilung an geradlinig ausgespannten Drähten Aufschluß geben, hat Slaby[4] mitgeteilt. Nach seinen Untersuchungen ist es zweckmäßig, den Meßfunken nicht zwischen zwei Metallen, sondern zwischen einer Metallelektrode und einer Bogenlampenkohlenelektrode überschlagen zu lassen.

Nahezu dieselben Strom- und Spannungsverhältnisse, d. h. Feldverteilungsverhältnisse, sind im Resonator selbstverständlich dann vorhanden, wenn man die offenen Enden von *ff* zusammenbiegt und der Vorrichtung die Form eines Rechtecks oder Kreises gibt, wie in Fig. 6 gezeichnet. Hierbei wird zweckmäßig, um dem gesamten System eine möglichst große mechanische Festigkeit zu verleihen, ein kräftiger Draht oder ein Rohr *f* angewendet. *e* ist die Resonatorfunkenstrecke, die aus dem Metallplättchen *g* und der Mikrometerschraube *h* besteht. Wenn sich der Resonator mit dem Oszillator in Resonanz oder einer vielfachen Resonanz (ungeradzahligem Oberton) befindet, treten maximale Funken auf.

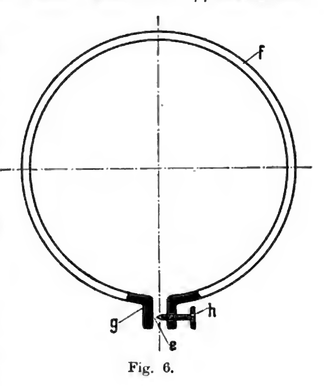


Fig. 6.

Hertz hat mit einer ähnlich gestalteten Vorrichtung nicht nur qualitative, sondern auch quantitative Messungen und Richtungsbestimmungen ausgeführt.

B. Der Righische Resonator.

Righi[5] hat die von ihm selbst gefundene Tatsache, daß Resonatorfunken an Intensität, Länge und Deutlichkeit gewinnen, wenn man sie zwischen auf Glas geklebten Stanniolstreifen, Silberschichten usw. überschlagen läßt, indem der Funken an der Glasoberfläche

Digitized by Google

gleichsam entlangkriecht, in der Weise benutzt, daß er einen langen, schmalen, mit einem Silberüberzug versehenen Glasstreifen in seiner Mitte in der Querrichtung auf der Silberbelagseite mit einem Gravierdiamanten ritzte, wie in Fig. 7 skizziert. *i* ist die Glasplatte, *ff* sind die Silberbelegungen, und *e* ist die Ritzstelle, d. h. die Funkenstrecke.

Sobald sich der Righische Resonator mit einem passenden Oszillator in Resonanz befindet, gehen in *e* lebhafte Funken über.

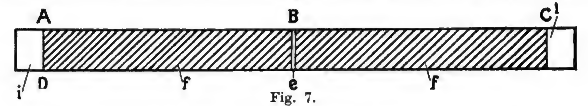


Fig. 7.

Die Empfindlichkeit des Righischen Resonators ist größer als diejenige der Hertzschen Anordnung, aber bedeutend geringer als diejenige bei den Anordnungen nach Lodge, Lecher usw. Dabei sinkt die Empfindlichkeit allmählich, da der Spalt *e* durch Verbrauch von Metallteilchen größer wird. Für Versuche, bei denen mit geringen Intensitäten, bzw. großen Entfernungen gearbeitet wird, ist es zweckmäßig, den Funken in *e* durch eine Lupe zu betrachten.

Die Wellenlänge des Righischen Resonators hängt von der Breite *AD* der Silberschicht ab. Wenn diese nämlich klein ist, ist die halbe Wellenlänge gleich dem Abstand *AC*. Je größer die Breite ist, um so mehr wirken die Metallschichten gegeneinander als Kapazitäten, und um so größer wird die resultierende Wellenlänge.

C. Der Resonator von Zenneck.

Diese Anordnung[6] ist zwar nicht so empfindlich wie die von Righi, besitzt dafür aber den Vorteil, auch auf größere Entfernungen hin gut sichtbar zu sein. In Fig. 8 sind die Leiter *ff* zylindrische Metallstäbe, auf denen die Röhren *ll* mit den Platten *mm* verschoben werden können. Die gegeneinander gekehrten Enden der Metallzylinder *ff* sind mit einer Mikrometerfunken-

Fig. 8.

strecke *e*, die zweckmäßig Kohlenspitzen besitzt, ausgerüstet. Die Metallzylinder *ff* sind unter Zwischenschaltung von Drosselspulen *nn* und einer Glühlampe *o* mit einer Wechselstromquelle *p* verbunden.

Der Resonator wird zunächst so eingestellt, daß bei Resonanz kleine Fünkchen in *e* übergehen. Wird sodann die Wechselstromquelle angeschlossen, so treten glänzend weiße, weithin sichtbare Funken in *e* auf. Die Funken verschwinden sofort, wenn der Resonator durch Verschieben von *l* und *f* aus der Resonanzlage gebracht wird, oder wenn die Eigenperiode verändert wird, indem z. B. über die Platten *m* Stanniolstreifen gehängt werden. Dem Falle, daß in *e* ein Flammenbogen stehen bleibt, auch wenn keine Schwingungen mehr vorhanden sind, kann man durch Einschalten eines passenden Widerstandes in die Wechselstromleitung vorbeugen.

D. Die Zehndersche Röhre.

Wenn man zwei Elektroden, die in einer luftverdünnten Röhre angeordnet sind, und an denen eine hohe Spannung liegt, welche so groß ist, daß gerade kein direkter Stromübergang stattfinden kann, mit elektrischen Wellen bestrahlt, so wird die zwischen den Elektroden befindliche Gasschicht ionisiert, und es findet ein sichtbarer Stromübergang statt. Diese Erscheinung hat Zehnder[7] zu der in Fig. 9 wiedergegebenen Röhrenanordnung benutzt.

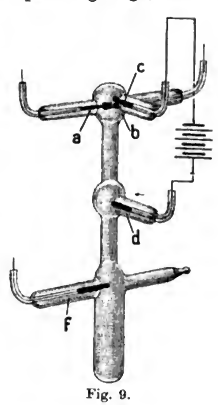


Fig. 9.

Die aus Aluminium hergestellten Elektroden *a* und *b* sind diejenigen, auf welche die schnellen Schwingungen einwirken. Zwischen *c* und *d* liegt eine Hochspannungsquelle, die so einreguliert wird, daß ohne Bestrahlung die Röhre nicht anspricht. Mittels der Elektrode *f* wird Natrium elektrolytisch eingeführt (Warburg).

Sobald die mit der passend bemessenen Hochspannungsquelle verbundene Röhre durch elektromagnetische Schwingungen erregt wird, beginnt sie zu leuchten, wobei der Leuchteffekt in der Resonanzlage ein Maximum wird.

Eine ähnliche Anordnung ist von Righi[8] mitgeteilt worden.

Digitized by Google

Hierher gehören auch die Vorrichtungen von Boltzmann[9] und Drude[10].

E. Der Resonator von Blyth und Bjerknes.

Von Blyth[11] und etwas später von Bjerknes[12] wurden Resonatoren vorgeschlagen, bei denen die den Resonator bildenden Drähte mit den Platten eines Quadrantelektrometers oder eines Thomsonschen Multizellular-Voltmeters[13] verbunden waren. Sobald im Resonator Schwingungen auftreten, sucht sich die Kapazität des Systems zu vermehren und die Elektrometerplatten bewegen sich gegeneinander derart, daß sie den Höchstwert des Ausschlages erreichen, wenn der Resonator auf den Oszillator abgestimmt ist.

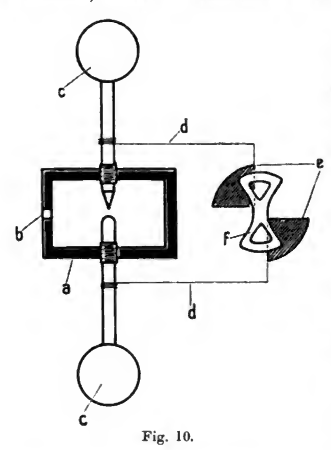


Fig. 10.

In der Fig. 10 ist die Anordnung von Blyth in etwas abgeänderter Form wiedergegeben. *a* ist ein aus Isolationsmaterial, beispielsweise aus Holz hergestellter Kasten, mit Schauloch *b*, um eventuell das Funkenspiel zwischen den Enden des Resonators *c*, der mit Gewinde in *a* befestigt ist, beobachten zu können. Im allgemeinen sind die Resonatorenden so weit auseinander gezogen, daß keine Funken auftreten können. Durch Drähte *d* sind die Resonatorenden mit einem Quadratelektrometer *e* verbunden, dessen Nadel *f* zur besseren Kenntlichmachung mit einer Papierfahne versehen werden kann. Zweckmäßig wird, um Elektrisierungen zu vermeiden, die Nadel geerdet.

Literatur-Angaben.

[1] Hertz: Wied. Ann. d. Phys. 31, p. 421. 1887. (Über sehr schnelle elektr. Schwingungen.) — [2] Dragoumis: Nature, Band 39, p. 548. 1889. (Geißlerröhre als Resonanzindikator.) — [3] Lucas und Garret: Phil. Mag. 5, Band 33, p. 299. 1892. (Explosionsresonanzindikator.) — [4] Slaby: E.T.Z. 23, p. 165. 1902. (Die wissenschaftlichen Grundlagen der Funkentelegraphie.) — [5] Righi: Die Optik der elektrischen Schwingungen. Leipzig 1896, p. 16. — [6] Zenneck: Elektro-

Digitized by Google

magnetische Schwingungen und drahtlose Telegraphie. Stuttgart. 1905, p. 790. — [7] Zehnder: Wied. Ann. 47, p. 77. 1892. (Elektrodenröhre für Resonanzerscheinungen.) — [8] Righi: Rendic. R. Acc. dei Lincei vom 7./11. 1897 und vom 29./5. 1898. (Vakuum-Funkenresonator.) — [9] Boltzmann: Wied. Ann. 40, p. 399. 1890. (Luftverdünnte Röhre als Resonanzindikator.) — [10] Drude: Wied. Ann. 52, p. 499; Wied. Ann. 53, p. 753. 1894. (Vakuumdetektor.) — [11] Blyth: Electrician 24, p. 442. 1890. (An Electrical Oscillation Detector.) — [12] Bjerknes: Wied. Ann. 44. p. 74. 1891. (Über die Dämpfung schneller elektr. Schwingungen.) — [13] Thomson: Electrician 24, p. 7. 1889. (Multizellular-Voltmeter.)

---

2. Das Paralleldrahtsystem.

1. Verfahren und Anordnungen.

A. Das Lechersystem.

Die Ausbreitung und Fortpflanzung von elektrischen Wellen an Leitern sind schon oft und vor Lecher zum Gegenstande experimenteller Untersuchungen gemacht worden. Es gehören hierher die Arbeiten von v. Bezold (1870), Lodge-Chattock (1887/88), Sarasin und de la Rive, Arons, Ritter, Blondlot, Curie, Jones, Jule, Barton und anderen.

Mit Hilfe des im folgenden zu beschreibenden Paralleldrahtsystems gelang es indessen Lecher[1] zum erstenmal, die Geschwindigkeit elektrischer Wellen an Drähten experimentell richtig zu bestimmen und eine Anordnung zum objektiven Nachweis stehender elektrischer Wellen zu schaffen. Aus den älteren Arbeiten von Hertz ist bekannt, daß dieser die Fortpflanzungsgeschwindigkeit elektromagnetischer Störungen an einem ausgespannten Drahte mit 200000 km in der Sekunde feststellte, während die Maxwellsche Theorie Lichtgeschwindigkeit fordert. Durch die Lechersche Anordnung wurden die letztgenannter Theorie entsprechenden Zahlen praktisch genau festgestellt; wegen der Einfachheit der Lecherschen Drahtführung für kurze Wellenlängen und der relativ hohen Genauigkeit, sobald die theoretischen Forderungen hinreichend Berücksichtigung finden, bei guter objektiver Sichtbarmachung der Abstimmung, wurde sie bald allenthalben eingeführt. Auch Hertz wandte sie in seiner Arbeit über die mechanischen Wirkungen elektrischer Drahtwellen[2] an und bestimmte damit die Größenordnung der dabei auftretenden Strahlen magnetischer und elektrischer Kraft.

Digitized by Google

Das Lechersche Drahtsystem ist in Fig. 11 schematisch dargestellt. Es besteht aus einem Primärsystem *I* (Erreger) und einem Sekundärsystem *II* (Empfänger). Das Primärsystem wird aus zwei mit einer Funkenstrecke *a* versehenen Drähten *c* gebildet, wobei

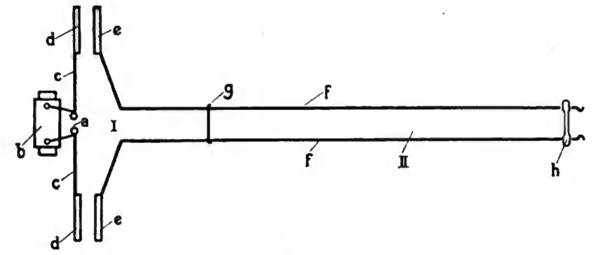


Fig. 11.

die Funkenstrecke von einem kleinen Induktor *b* gespeist wird. Die Drähte *c* sind mit Endkapazitäten *d* versehen, welche z. B. aus quadratischen oder kreisförmig gestalteten Blechplatten gebildet werden. Diesen gegenüberstehend sind möglichst gleich ausgebildete Blechplatten *e* angeordnet, die mit je einem Draht *f* (von 1 mm ϕ) verbunden sind, ungefähr in der schematisch gezeichneten Weise. Hierbei kann der Abstand der Paralleldrähte beliebig groß sein; er wurde von Lecher zwischen 10 und 50 cm ausgeführt. Die Länge der Drähte richtet sich im wesentlichen nach der verwandten Wellenlänge, d. h., je größer die Frequenz bemessen wird, um so geringer kann die Drahtlänge gewählt werden.

Auf das Drahtsystem wird erstens eine leicht verschiebbare Drahtbrücke *g*, die eventuell mit einem, eine Skala bestreichenden Zeiger versehen werden kann, und zweitens eine luftverdünnte Röhre *h* gelegt, welche, wenn das System *g f h f g* auf *a c d e g e d c a* abgestimmt ist, aufleuchtet.

Bei aufgelegter Brücke *g* und Röhre *h* leuchtet letztere, wenn das Gesamtsystem *I*, *II* erregt wird, im allgemeinen nicht; nur bei einer ganz bestimmten Lage von *g*, die etwa der gezeichneten entspricht, leuchtet die Röhre *h* auf.

Die Erklärung für diesen Vorgang ist folgende:

Die Kondensatorplatten *d e* bilden in der dargestellten Weise zwei hintereinandergeschaltete Kondensatoren. Ein Schwingungssystem *a c d e g e d c a* erregt ein zweites Schwingungssystem

Digitized by Google

g f h f g, und zwar derart, daß man durch Verschiebung der Brücke *g* das letztere auf das erstere abstimmen kann. Im Resonanzfalle leuchtet die Röhre auf. Bei allen anderen Stellungen der Brücke bleibt sie dunkel, wobei allerdings die Grenzen nicht absolut scharf sind.

Für den Resonanzfall erhält man eine Verteilung der Knoten und Bäuche, die in Fig. 12 wiedergegeben ist. Es sind mithin in *g* und in *h* Knoten der auftretenden Schwingungen vorhanden. Die halbe Wellenlänge ist gleich der Drahtlänge *f*.

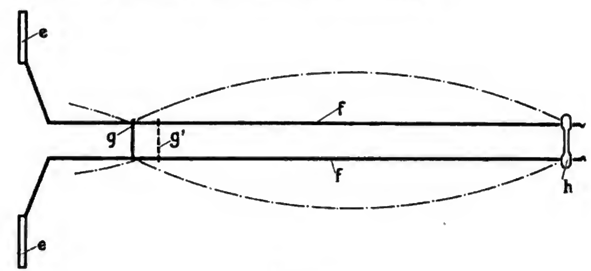


Fig. 12.

Von Hertz wurden gerade die Schwingungsvorgänge, insbesondere die Verteilung der elektrischen und magnetischen Kräfte im Paralleldrahtsystem untersucht, und zwar die erstere mittels eines kleinen, an einem Kokonfaden aufgehängten Röhrchens aus Goldpapier, das maximale Ausschläge an den Stellen *g* und *h* (Spannungsbauch) zeigte, die letztere mit einem vertikal drehbar aufgehängten Aluminiumring, der sich an den Stellen *g* und *h* senkrecht zu der vorher gefundenen Richtung zu stellen strebt. Der Maximalwert der magnetischen Kraft fällt zusammen mit dem Knoten der elektrischen Kraft.

Die Drehung des Aluminiumringes kann man sich wie folgt entstanden denken:

Der im Paralleldrahtsystem fließende Strom sei $J = J_0 . \sin(\omega t)$ dann ist die induzierte *EMK*

$$E_p = -L . \frac{dJ}{dt} = -L . J_0 . \omega . \cos(\omega t).$$

Wenn man den Ohmschen Widerstand vernachlässigt, hat der erzeugte Induktionsstrom eine weitere Phasenverschiebung von 90° gegenüber dem ursprünglichen Strom.

Digitized by Google

Würde man in den Knoten metallische Massen oder andere Körper anbringen, so würden dadurch die Schwingungen im allgemeinen nicht wesentlich gestört werden.

In dieser Tatsache liegt ein wesentlicher Vorteil des Lechersystems, nämlich der der geringen Beeinflussung der Periodenzahl, durch in nicht zu großer Nähe befindliche Leiter. Würde man z. B. eine zweite Brücke g' aufsetzen, so würde diese, in der Nähe der Knoten angeordnet, keine merkliche Veränderung der Periodenzahl hervorrufen, wohl aber, sobald sie nach dem Schwingungsbauch zu verschoben wird.

Es soll gleich hier bemerkt werden, daß es für die Periodenzahl wenigstens bei kleinen und mittleren Wellenlängen nichts oder nur wenig ausmacht, wenn die Paralleldrähte etwa unter 90° abgebogen und parallel weitergeführt werden[×] (siehe z. B. Drude, S. 63, Ives, S. 111). Man kann daher durch einfache Verschiebung der Drähte den erzeugten Schwingungen alle möglichen gewünschten Lagen zueinander geben.

Quantitative Messungen am Lechersystem sind von Paalzow und Rubens[3] mit Hilfe der von ihnen zu diesem Zwecke konstruierten Bolometeranordnung (siehe Rempp, S. 192) angestellt worden.

Für kleine Wellenlängen bei denen man mit einer geringen Erregerenergie auskommt, kann das Lechersystem mit Vorteil zur Eichung verwandt werden. Für mittlere und große Wellenlängen erscheint nach dem Stande der heutigen Erkenntnis der quasistationäre, berechenbare Resonanzkreis als bestes Eichnormal.

B. Das Paralleldrahtsystem von Zenneck.

Eine andere, für manche Zwecke vorteilhafte Methode, um stehende Wellen bestimmter Länge herzustellen, ist von Zenneck[4] mitgeteilt worden. In der Fig. 13 ist seine Anordnung wiedergegeben. *I* ist der regulierbare Oszillator, *II* der veränderliche Resonator. Der Oszillator enthält eine Funkenstrecke a, zwei Kapazitäten b und eine variable Selbstinduktion c. Das Paralleldrahtsystem *II* trägt einen verschiebbaren Bügel d, sowie einen oder mehrere Resonanzindikatoren (Mikrometerfunkenstrecken, luft-

[×] Nach Messungen von Diesselhorst in der Physikalisch-technischen Reichsanstalt (Aufnahme von Funkenbildern und Berechnung der Schwingungszahl aus diesen) scheinen die Abweichungen für Lechersysteme mit Knickstellen bei großen Wellenlängen ($\lambda > 600$ m) allerdings beträchtlicher zu sein, als aus den bisherigen Untersuchungen und Annahmen hervorgeht. Siehe auch S. 36.

Digitized by Google

verdünnte Röhren o. dgl.). Wenn man in *II* stehende Wellen bestimmter Länge hervorrufen will, z. B. solche von 100 m, dann macht man $e\,f = \lambda/_4 = 25$ m (die Teile $f\,g$ fallen vorläufig fort) und schaltet zwischen $f\,f$ an Stelle des Bügels eine Funkenstrecke.

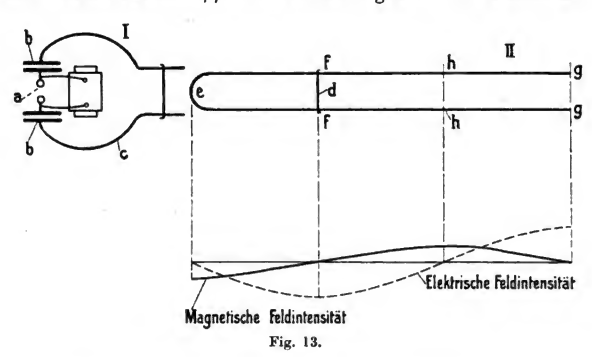


Fig. 13.

Der Oszillator wird nun erregt und so lange abgeglichen, bis maximale Funken zwischen $f\,f$ auftreten; sodann werden die Leitungsdrähte $f\,g$ an das System angeschlossen.

Um intensive Schwingungen in *II* zu erzeugen, muß die Länge $e\,g$ ein ungerades Vielfaches von $e\,f$ sein. Wesentlich ist nämlich, daß der Oszillator im Strombauch (wie jeder praktische Sender) erregt wird.

Der Verlauf von Strom und Spannung, d. h. für magnetische und elektrische Feldintensität, bei obiger Anordnung ist ebenfalls in Fig. 13 dargestellt. In f und g sind Knoten der Stromverteilung und daher Bäuche der Spannung vorhanden; für e und h gilt das Umgekehrte.

C. Der Blondlot-Erreger.

Besonders reine stehende Wellen lassen sich in einem am Ende geschlossenen Paralleldrahtsystem nachweisen, das auf λ (eine Wellenlänge) abgestimmt ist und z. B. durch einen sogenannten Blondlot-Erreger[5] in Schwingungen versetzt wird. Unter Blondlot-Erreger wird ein solcher verstanden, bei welchem zwei Kondensatorplatten, eine zum Kreise gebogene Drahtführung und eine Funkenstrecke in Öl, angeordnet sind. Die damit erzielten Schwingungen

Digitized by Google

sind ziemlich wenig gedämpft. Fig. 14 zeigt die Anordnung und Schwingungsverteilung. Es ist $eg = \lambda$, $ed = df = fh = hg = \frac{\lambda}{4}$. Bei Erregung ergibt ein Absuchen des Systems mittels luftverdünnter Röhre die dargestellte Feldverteilung der elektrischen Kraft (ge-

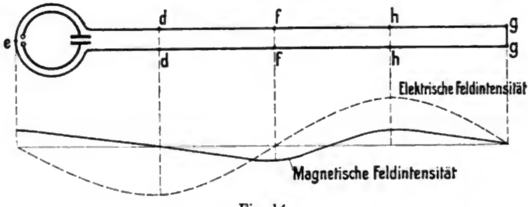


Fig. 14.

kennzeichnet durch — — — — — Linienführung) und der magnetischen Kraft (in der Figur gekennzeichnet durch ——— Linienführung), welche dort ihre Knoten hat, wo die erstere Bäuche aufweist. *g* und *e* sind mithin Reflexionspunkte der Schwingungen.

D. Die Aronssche Röhre.

Eine andere Modifikation der Lecherschen Anordnung ist von Arons[6] für Demonstrationszwecke angegeben werden. Arons ordnet die Paralleldrähte in einem mit Hahn versehenen Glasrohr, aus welchem die Luft entfernt werden kann, an. Bei Erregung der

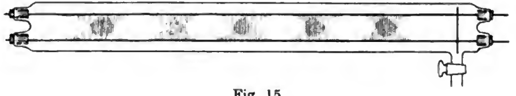


Fig. 15.

Drähte leuchten die Schwingungsbäuche der elektrischen Feldintensität auf, die Knotenstellen bleiben dunkel. Die Anordnung und Verteilung der Knoten und Bäuche zeigt Fig. 15.

E. Die Righische Demonstrationsvorrichtung.

Ebenfalls zu Vorführungszwecken befestigte Righi[7] die Paralleldrähte in einem etwa 3 cm betragenden gegenseitigen Abstande auf Glasstreifen und füllte den Zwischenraum mit einer Gummi-

Digitized by Google

lösung, die Zinkfeilspäne enthielt, aus. An den Bäuchen der elektrischen Feldverteilung findet dann bei Erregung ein lebhaftes Funkenspiel statt.

F. Die Anordnungen von Coolidge und Schaum & Schulze.

Zur Erzeugung kurzer stehender Wellen von ca. 12 cm Länge ist von Coolidge[8] eine Methode angegeben worden, bei welcher ein Blondlot-Erreger von 20 mm ϕ (ohne Zusatzkapazität) auf ein Paralleldrahtsystem arbeitet, das mit ca. 0,1 mm starken Drähten versehen ist. Die Ausstrahlungen der erregten Drähte, d. h. die Stellen der maximalen elektrischen Feldintensität, wurden mittels einer Kamera aufgenommen. Eine solche besonders deutliche Aufnahme ist in Fig. 16 wiedergegeben. Die vom Erreger aus ab-



Fig. 16.

nehmende Intensität (von rechts nach links gesehen), infolge der Reflexion an den Brücken, kommt hierbei gut zum Ausdruck. Die eingezeichneten Pfeile bedeuten die auf die Drähte gelegten Brücken, an denen die elektrische Feldintensität ein Minimum ist.

Die Anordnung von Coolidge eignet sich auch für Demonstrationszwecke, wenn man, wie das K. Schaum & H. Schulze[9] gezeigt haben, hinter dem aus dünnen Drähten von ca. 0,1 mm ϕ hergestellten Paralleldrahtsystem mit einem, mit Baryum-Platin-Cyanür oder Chininsulfat oder drgl. bestrichenen Schirm entlangfährt. An den Bäuchen der elektrischen Feldintensität leuchten dann die Drähte merklich auf, und die Leuchterscheinung ist schon bei geringer Erregung so stark, daß sie selbst in einem größeren Auditorium gut sichtbar ist.

G. Das Eichsystem von Gehrcke.

Von Gehrcke[10] wurde eine Modifikation des Lechersystems zu Eichzwecken angegeben, die insbesondere durch die Art der Erregung bemerkenswert ist.

Digitized by Google

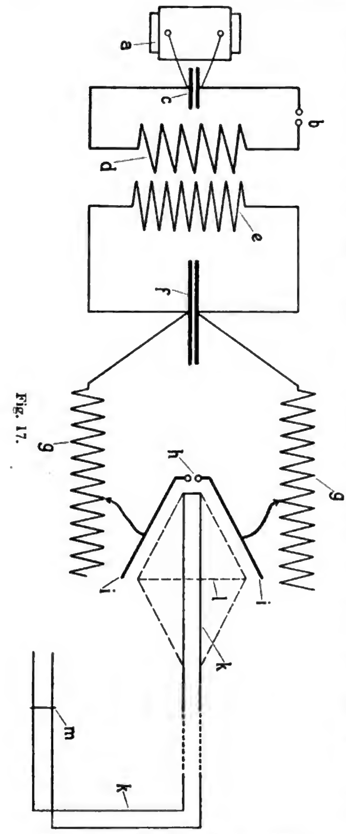


Fig. 17.

Die Anordnung zeigt Fig. 17. *a* ist ein Induktor, der bei kurzen Wellen mit Gleichstrom, bei langen Wellen mit Wechselstrom (50 Perioden/Sek.) gespeist wurde, da wegen der erforderlichen losen Kopplung zwischen Erreger und Empfangssystem die Empfangsenergie am Ende der bei großen Wellen sehr langen Lecherdrähte zum Nachweisen mittels Geißlerröhre oder Funkenstrecke noch einen gewissen Wert haben muß, der bei Speisung des Induktors mit unterbrochenem Gleichstrom nur schwer erreichbar ist. *b* ist eine Zinkfunkenstrecke, *c* eine Leydener Flaschenbatterie. *de* ein Teslatransformator, und zwar war *d* eine Primärspule aus 6 Windungen, die auf einen Glaszylinder von 14 mm ϕ gewickelt waren; *e* war die sekundäre Spule, aus 100 Windungen besponnenen Kupferdrahtes bestehend, die auf einen Holzkern von 11 cm ϕ gewickelt waren. *f* war ein Luftkondensator, der aus zwei, vier oder sechs runden Zinkplatten von je 1 m Durchmesser (bzw. auch aus kleineren Zinkplatten) gebildet war, *g* waren Spulen, die bei einer Windungszahl von 30 vertikal aufgestellt waren. *h* war eine zwischen den Kupferbügeln *i* angeordnete Petroleumfunkenstrecke. Die Länge der Bügel *i* betrug je 65 cm. Der Meßbereich des Systems betrug bei Variation, von *f* und *g*, $\lambda = 5$ m bis 520 m.

Digitized by Google

Die Messung der Wellenlängen des Systems *fghg* erfolgte mit dem Paralleldrahtsystem *k*. Letzteres war mit dem Erreger in der gezeichneten Weise magnetisch sehr lose gekoppelt, wobei die Drahtlänge der Leiter *k* direkt die halbe Wellenlänge ergibt. Da eine derartige lose Kopplung für lange Wellen nicht ausreicht, wurde sie dadurch verstärkt, daß das Paralleldrahtsystem in der punktiert gezeichneten Weise an der Kopplungsstelle gebogen wurde, was mittels eines zwischen die Drähte geklemmten Glasrohrs *l* bewirkt wurde.

Die Drähte *k* waren 1 mm starke Kupferdrähte in einem gegenseitigen Abstand von 25 mm, der alle 15 m durch über die Drähte gelegte Hartgummiplättchen innegehalten wurde. Die Drähte *k* waren 2 m über dem Erdboden auf 10 Glasisolatoren im Garten der Physikalisch-technischen Reichsanstalt in Charlottenburg ausgespannt. Die gesamte Drahtlänge betrug 285 m.

Die Resonanz zwischen dem Erregersystem und dem Paralleldrahtsystem wurde mittels einer verschiebbaren Brücke *m* hergestellt. Als Resonanzindikator wurde eine Geißlerröhre benutzt.

Versuche haben ergeben, daß in die Nähe der Drähte *k* gebrachte geerdete oder ungeerdete Zinkplatten Abweichungen der Wellenlängen im Paralleldrahtsystem herbeiführten, die sehr klein waren und noch im Bereich der Einstellungsfehler lagen. Zwischen die Drähte *k* gehaltene Leiter oder Isolatoren hatten im allgemeinen ebenfalls keinen Einfluß. Eine beeinflussende Wirkung trat erst ein, wenn die betreffenden Körper den Drähten sehr genähert wurden.

An Stelle der Drähte *k* wurden auch Kupferbänder von Gehrcke untersucht. Solange die Bänder in einer Ebene angeordnet waren, waren die Resonanzstellungen von denen beim Paralleldrahtsystem kaum verschieden, hingegen war die Anordnung, bei der die Bänder mit ihren Breitseiten sich gegenüberstanden, für die vorliegenden Zwecke unbrauchbar.

Bei Anwendung isolierter Drähte für das Paralleldrahtsystem war die Resonanzstellung verkürzt.

2. Konstruktionen.

In Fig. 18 ist eine Ausführungsform des Lechersystems von Ernecke[×] in Berlin-Tempelhof dargestellt.

Der Apparat besteht aus 2 Schlittenbrettern, von denen jedes

× Aus der Preisliste von Ernecke.

Digitized by Google

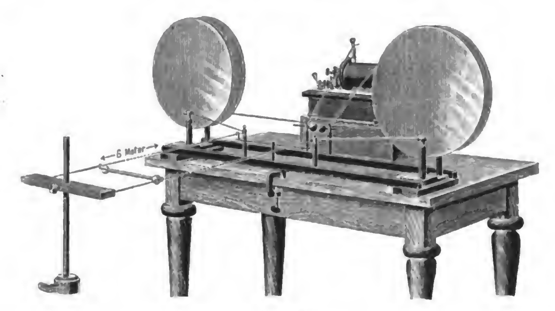


Fig. 18.

eine feststehende und eine durch Schlitten verschiebbare, auf je einer Hartgummisäule montierte Kondensatorplatte von 40 cm Durchmesser trägt. Die beiden Schlittenbretter sind durch 2 m lange Holzleisten verbunden und zu einem Rahmengestell zusammengefügt. Die hintere Leiste trägt eine Funkenstrecke (Zinkkugeln), die verschiebbar sind. Von dem die Vorrichtung speisenden Induktor führen Drähte über die Funkenstrecke zu den feststehenden Blechplatten.

Von den verschiebbaren Platten sind Drähte zu zwei auf der vorderen Leiste in einem gegenseitigen Abstand von 30 cm befindlichen isolierten Klemmen geleitet, biegen dort rechtwinklig um und laufen parallel in einer Länge von 6 m zu 2 Haken, welche isoliert in dem Querarm eines eisernen Bodenstativs befestigt sind.

Zwei mit Hartgummigriffen versehene Drahtbügel lassen sich längs der Drähte verschieben und festlegen.

Die Abb. 19 und 20 zeigen für obiges Drahtsystem geeignete luftverdünnte Röhren.

Fig. 19.

Fig. 20.

Noch besser als einfache luftverdünnte Röhren sind für alle derartigen Versuche Neon-, Helium- oder Natriumkaliumröhren mit oder ohne Elektroden nach Angaben von Dorn[11, 12] und Warburg[13], da dieselben sehr konstante Empfindlichkeit besitzen und außerordentlich wenig dämpfen. Derartige Röhren werden z. B. von R. Goetze in Leipzig geliefert.

Digitized by Google

Fig. 21 zeigt ein Instrumentarium nach Coolidge-Blondlot von M. Kohl× in Chemnitz.

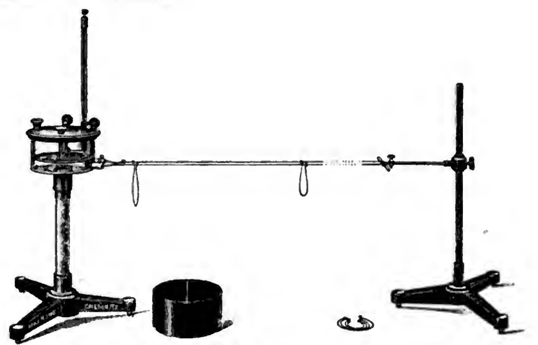


Fig. 21.

Der Apparat besteht aus einem modifizierten Blondlotschen Erreger auf einem Stativ mit Glassäule, 2 Kupferdrähten, die je 5,5 m lang und 0,2 mm stark sind, ferner 6 Brücken von verschiedener Länge und einer Abspannvorrichtung für die Drähte, ebenfalls auf einem Stativ mit isolierender Glassäule.

Um möglichst starke Schwingungen im Sekundärkreis des Erregers zu erhalten, wird dieser mit dem Primärschwingungskreis, welchem er hinsichtlich seiner Gestaltung gleichgehalten ist, fest gekoppelt. Die beiden Kreise sind, um dies zu erreichen, ohne daß Funken in den Sekundärkreis überspringen, nur durch Glimmerplatten von zusammen 2 mm Stärke getrennt und befinden sich in einem Ölbade. Der Primärkreis ist zweiteilig ausgeführt; die Entfernung der beiden Teile läßt sich durch isolierte Schrauben regulieren, die auf dem Hartgummideckel des Apparates angebracht sind.

Zum Betriebe des Apparates sind erforderlich: ein Funkeninduktor von 150—200 mm Funkenlänge, ein Funkenmikrometer, ein Hochspannungstransformator und eine Leidener Flasche.

3. Kritik.

Vorteile:

1. Durch Anwendung zweier Paralleldrähte ist das elektromagnetische Feld im wesentlichen auf die direkte Nachbarschaft

× Nach der Preisliste von M. Kohl.

Digitized by Google

des Drahtsystems beschränkt, und es findet infolgedessen praktisch so gut wie keine Beeinflussung der Periodenzahl durch in der Nähe befindliche Körper statt, und es ist ferner aus demselben Grunde der Feldkonzentration die Ausstrahlung der Drähte sehr beschränkt und daher die Dämpfung wesentlich vermindert.

2. Lecher hatte von vornherein dadurch, daß er eine luftverdünnte Röhre anwandte, eine sehr geringe Widerstandsdämpfung im Resonanzsystem, was gegenüber den etwa gleichzeitig von J. J. Thomson angestellten Resonanzversuchen mit Meßfunkenstrecke einen Vorteil bedeutet, da namentlieh kleine Funkenstrecken (unter 2 mm) verhältnismäßig stark dämpfen. Allerdings ist es möglich, durch geeignete Dimensionierung und Wahl des Elektrodenmaterials Mikrometerfunkenstrecken von großer Empfindlichkeit herzustellen.

Nachteile:

Mittlere und große Wellenlängen können praktisch nur sehr schwer hergestellt werden, da dann sehr lang ausgespannte Paralleldrähte erforderlich werden, wobei leicht Verhältnisse eintreten können, welche das Resultat erheblich fälschen. Die mit Knickstellen versehenen Lechersysteme stimmen mit der Theorie nicht mehr genau überein und weisen je nach Art der Knickstellen und dem verwandten Drahtmaterial mehr oder weniger große Fehler auf. Auch kommt bei großen Wellenlängen der Drahtwiderstand in betracht, welchen Cohn bei seinen Rechnungen berücksichtigt hat. Für sehr große Wellenlängen kommt das Paralleldrahtsystem schon wegen der Schwierigkeit des Inschwingungversetzens kaum noch in Frage, sondern es findet besser alsdann ein berechenbarer, quasistationärer Schwingungskreis Anwendung.

4. Literatur.

[1] Lecher: Wied. Ann. 41, p. 850. 1890. (Eine Studie über elektrische Resonanzerscheinungen. Lechersches Drahtsystem.) — [2] Hertz: Wied. Ann. 42, p. 407. 1891. (Über die mechanischen Wirkungen elektrischer Drahtwellen.) — [3] Paalzow-Rubens: Wied. Ann. 37, p. 529. 1889. (Messungen am Lecherschen Drahtsystem.) — [4] Zenneck: Elektromagnetische Schwingungen und drahtlose Telegraphie. Stuttgart. 1905, p. 728. — [5] Blondlot: Compt. rend. 114, p. 280. 1892. (Blondlot-Erreger.) — [6] Arons: Wied. Ann. 45, p. 553. 1892. (Nachweis stehender Wellen auf Drähten.) — [7] Righi: Rendic. della R. Acc. di Bologna v. 29./3. 1898. (Nachweis stehender Wellen auf Drähten.) — [8] Coolidge: Wied. Ann. 67, p. 578. 1899. (Eine neue Methode zur Demonstration elektrischer Drahtwellen.) — [9] K. Schaum und W. Schulze: Ann. d. Phys. 13, p. 422. 1904. (Zur Demonstration elektrischer Drahtwellen.) — [10] Gehrcke: Elektrotechn.

Digitized by Google

Zeitschrift 26, p. 697. 1905. (Über die Messung der Wellenlänge elektrischer Schwingungen.) — [11] Dorn: Ann. d. Phys. 16, p. 784. 1905. (Heliumröhren als Resonanzindikatoren.) — [12] Dorn: Ann. d. Phys. 20, p. 127. 1906. (Heliumröhren mit elektrolytisch eingeführtem Natrium und Kalium.) — [13] Warburg: Wied. Ann. d. Phys. 40, p. 1. 1890. (Luftverdünnte Röhren, die mit Stickstoff, Kalium usw. gefüllt sind.)

---

3. Geschlossene Schwingungssysteme.

1. Anordnungen und Konstruktionen.

A. Die Flaschenanordnung von Lodge (Noack).

Die Entladung einer Leydener Flasche (Kapazität C) kann je nach dem Widerstande (W) des zum Kurzschließen benutzten Drahtes aperiodisch oder oszillatorisch sein. Die aperiodische Entladung tritt z. B. ein, wenn man die Belegungen eines geladenen Kondensators durch einen Leiter mit hohem Ohmschen Widerstand (z. B. nasser Baumwollfaden) miteinander verbindet, d. h. wenn für sie die Thomson-Kirchhoffsche Ungleichung gilt:

$$W \geq \sqrt{\frac{4L}{C}}.$$

Die Entladung einer Leydener Flasche ist oszillatorisch, wenn der Ohmsche Widerstand des Kurzschlußbügels klein ist gegenüber der im Kreise vorhandenen Selbstinduktion (L). Die dafür geltende Beziehung lautet:

$$W < \sqrt{\frac{4L}{C}}.$$

Dieser Fall kommt hier allein in Betracht.

Die durch die oszillatorische Entladung hervorgerufenen elektromagnetischen Schwingungen wurden zur Kenntlichmachung der Resonanz zwischen zwei Systemen, dem Sender und Empfänger, für Demonstrationszwecke zum ersten Male von Lodge[1] verwendet.

Die Versuchsanordnung von Lodge gibt Fig. 22 wieder.

Zwei Leydener Flaschen A und B, möglichst gleich großer Kapazität, sind mit Drahtbügeln D und E, tunlichst von gleich dimensionierter Selbstinduktion, verbunden. Der Kreis AD enthält eine Funkenstrecke F. Der Resonator BES ist mit einer verschiebbaren Drahtbrücke S ausgerüstet. Außerdem besitzt er einen Stanniolstreifen C, der an die innere Flaschenbelegung von

Digitized by Google

B angeschlossen und außen nahe an die Belegung von *B* herangeführt ist. *A* wird nun aufgeladen, derart, daß nach Durchbruch der Funkenstrecke von dem System *A D* elektromagnetische Schwingungen bestimmter Frequenz ausgesandt werden. Diese

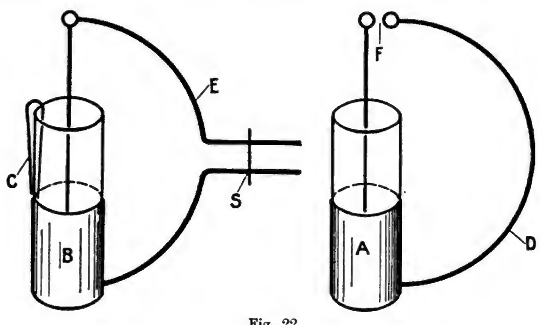


Fig. 22.

treffen das Resonanzsystem *BES* und versetzen dieses System in Schwingungen. Im Falle der Syntonie zwischen beiden Systemen können die Schwingungen (besser die schwingenden Energiemengen) im Resonator so stark werden, daß die Flasche „überläuft“. Letzteres erfolgt durch den Streifen *C*, und die Folge davon ist, daß zwischen *C* und der äußeren Belegung ein mehr oder weniger kräftiger Funken übergeht. Man kann zu diesem Zweck gut eine bereits durchgeschlagene Flasche benutzen. Die Resonanz zwischen beiden Systemen ist im allgemeinen nicht sehr scharf, d. h. es gibt einen größeren Bereich des Mitschwingens zwischen beiden Systemen. Wenn man beide Systeme lose koppelt, wenn also nur ein Bruchteil der von *AD* erzeugten Kraftlinien von *BES* aufgenommen wird, wird die Resonanzlage schärfer, und man kommt an eine Stelle, bei der nur in einer ganz bestimmten Lage von *S* im Sekundärsystem Funken auftreten.

Ein Instrumentarium zur Anstellung des Lodgeschen Versuches nach Spieß-Ernecke stellt Fig. 23 dar. An Stelle der Leydner Flaschen sind sogenannte Franklinsche Tafeln verwendet.

In Fig. 24 ist eine Zusammenstellung von Apparaten der Lodgeschen Versuche in der Ausführungsform von M. Kohl wiedergegeben.

Digitized by Google

Die eine Flasche (der Sender) ist mit einem Schließungsdraht versehen, der eine durch zwei Messingkugeln begrenzte Funkenstrecke enthält. Die andere weist einen nahezu völlig geschlossenen Kreis auf, der durch einen verschiebbaren Drahtbügel veränderlich ist. Der innere Belag der Flasche dieses zweiten Systems, des Empfangssystems, ist mit dem äußeren durch einen, eine kleine Funkenstrecke enthaltenden Schließungsdraht in Verbindung gebracht. Beide Flaschensysteme werden so nebeneinandergestellt,

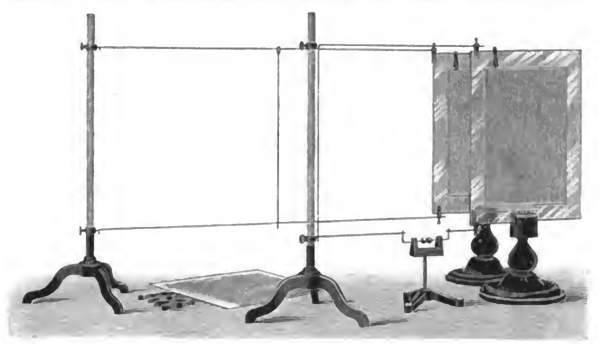


Fig. 23.

daß die Drahtbügelebenen parallel verlaufen (nicht, wie es die Figur zeigt), so daß die im Sender erzeugten Kraftlinien den Empfänger wenigstens teilweise durchsetzen. Wird nun die erste

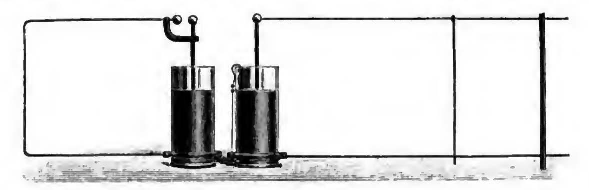


Fig. 24.

Flasche mit dem festen Stromkreis durch einen Induktor erregt, so entlädt sich bei jedem Funkenübergange infolge der Resonanzwirkung auch die zweite Flasche, wobei der Bügel eine

Digitized by Google

entsprechende Stellung einnehmen muß. Ein geringes Verschieben des Bügels stört im allgemeinen die Resonanz und hebt das Funkenspiel im Empfangssystem auf. Eine Einwirkung des Sendesystems auf das Empfangssystem wird dadurch verhindert, daß zwischen beide Flaschensysteme ein Metallschirm, ein Gitter oder dergl. geschoben wird. Glasplatten oder Holzschirme sind hingegen ohne Einfluß.

An Stelle der Funkenstrecke eine Vakuumröhre anzuwenden, ist unter anderen von Noack[2] vorgeschlagen worden. Fig. 25 zeigt eine

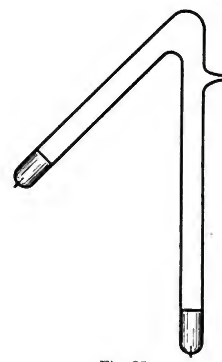


Fig. 25.

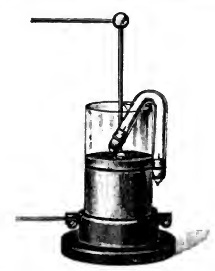


Fig. 26.

für diesen Zweck konstruierte Röhre, und Fig. 26 gibt eine Anwendung der Röhre in Verbindung mit dem Empfangssystem wieder.

Der Indikator besteht aus einer V-förmig gebogenen und an den Enden mit Platinelektroden versehenen Vakuumröhre. Die Enden der Röhre sind mit etwa 2 cm langen Stanniolbelegungen beklebt. Die Röhre wird mit Fäden an der Empfangsflasche so befestigt, daß die beiden Stanniolbelegungen mit den Flaschenarmaturen guten Kontakt haben. Bei Resonanz leuchtet die möglichst gut zu evakuierende Röhre mit weißlichem Licht auf.

B. Die Flaschenanordnung mit veränderlicher Kapazität von Robinson.

Eine Modifikation der obigen Anordnung rührt von Robinson her. Robinson nahm als erster veränderliche Kondensatoren, indem er zwei ineinander bewegliche zylindrische Glasflaschen, von denen die eine innen, die andere außen mit Stanniol beklebt war und die durch ein biegsames Kabel verbunden waren, benutzte. In Fig. 27

Digitized by Google

ist diese Anordnung schematisch dargestellt. Die Bezeichnungen sind dieselben wie in Fig. 22. Bei *C* findet das „Überfließen" statt, wenn Syntonie zwischen beiden Schwingungskreisen vorhanden ist.

Da bei den Resonanzversuchen, wie auch sonst in der Strahlentelegraphie bisher fast ausschließlich als Kondensatoren Leydener Flaschen benutzt wurden, — neuerdings dürften diese allerdings wegen der für die ungedämpften Schwingungen erforderlichen schwach gedämpften Kreise durch Luft- oder Ölkondensatoren mehr und mehr verdrängt werden — mögen einige bemerkenswerte Gesichtspunkte für die Herstellung von derartigen Flaschen hier Platz finden.

Die aus rationellen Gründen gewünschte möglichst große Kapazität einer Leydener Flasche fordert eine geringe Wandstärke. Letztere darf aber mit Rücksicht auf die Durchschlagsfestigkeit nicht zu schwach bemessen werden, da sie sonst nur zu geringe Funkenlängen aushalten würde. Wesentlich ist die

Fig. 27.

Fig. 28.

Festigkeitsbedingung, namentlich für die Belegungsenden, da an diesen volle Potentialdifferenz vorhanden ist. Aus diesem Grunde hat man die in Fig. 28 dargestellte Form vorgeschlagen,[3] wobei also an der am stärksten beanspruchten Stelle das Dielektrikum unter Voraussetzung annähernd homogenen Materials die größte Stärke besitzt.

a ist der aus Glas bestehende röhrenförmige Isolator, *b* und *c* sind die Belegungen, die im genannten Falle aus Silberschichten bestehen sollen.

Digitized by Google

Diese Ausführungsform hat jedoch den zweiten Übelstand der allgemein gebräuchlichen Leidener Flaschen nicht vermieden, nämlich die Dämpfung der Schwingungen infolge von Randstrahlungen, welche bei mittlerer und großer Belastung der Flaschen sehr wesentlich sind. Die Umgebung der Belegungsränder mit einem flüssigen oder halbflüssigen Dielektrikum ist im allgemeinen nicht sehr zweckmäßig. Besser ist es, wenn man die Belegungsränder mit einem festen Isolator umgibt, der etwa dieselben Eigenschaften besitzt, wie das Flaschenmaterial. Als solches kommt in erster Linie englisches Flintglas[×] in Frage, welches sehr geringe Absorption und daher nur kleine Dämpfung zeigt, die außerdem mit zunehmender Belastung nur wenig steigt.

C. Die Demonstrationsanordnung von Zenneck.

Von Zenneck[4] ist eine Anordnung angegeben worden, um die Resonanzversuche namentlich für Demonstrationszwecke weithin sichtbar zu machen.

Fig. 29.

In Fig. 29 ist an Stelle der Lodgeschen Resonanzfunkenstrecke eine Quecksilberlampe *a* angewendet, die unter Zwischenschaltung einer kleinen Funkenstrecke *b* an den Lodgeschen Resonator angeschlossen ist. *c* sind Drosselspulen, *d* ist ein Widerstand, und *e* ist eine Spannungsquelle. Die Entfernung zwischen Oszillator und Resonator wird zunächst so eingestellt, daß bei Resonanz der Quecksilberlichtbogen eben noch einsetzt, und es wird *d* so reguliert, daß der Lichtbogen verschwindet, wenn keine Resonanz vorhanden ist. Wenn man nun den Oszillator auf den Resonator abstimmt und voll erregt, erhält man ein weithin sichtbares Leuchten der Quecksilberdampflampe.

D. Das Demonstrations-Resonanzsystem mit veränderlicher Kapazität von J. J. C. Müller.

Die Herstellungsschwierigkeiten eines Drehplattenkondensators, wie dieser z. B. beim Franke-Dönitzschen Wellenmesser Anwendung findet, sind durch die

× Molineaux, Webb & Co. (Ancoats, Kirbystreet, Manchester).

Digitized by Google

nachfolgende Konstruktion[5] vermieden, bei welcher ebenfalls ein allmählich veränderlicher, aber leicht herstellbarer Kondensator angewendet wird. Der variable Kondensator besteht aus 15 Glasplatten von 13 × 18 cm Seitenlänge, zwischen denen etwas kleiner bemessene Zinkplatten von je 1 mm Stärke so angeordnet sind, daß stets abwechselnd die eine Belegungsserie *a* nach der einen Seite und die andere Belegungsserie *b* nach der anderen Seite hervorragt und an Verbindungsstreifen angeschlossen ist.

Die Belegungsserie *a* kann fest mit den Glasplatten, die unter sich durch eine Schellacklösung verbunden sind, angeordnet sein. Dann wird die andere Belegungsserie *b* mittels eines isolierenden Handgriffes *c* zwischen den Platten *a* verschiebbar angeordnet. Man erhält auf diese Weise verschieden große Kapazitätswerte, je nachdem, wie weit die Platten *b* zwischen die Platten *a* hineingeschoben sind. Die schon früher erwähnten Mißstände, die Glas für derartige Zwecke besitzt, werden selbstverständlich durch die vorliegende Konstruktion nicht vermieden.

In Fig. 30 ist ein derartiger Wellenmesser mit Erreger dargestellt. *f* ist die Funkenstrecke des letzteren, *g* und *h* sind Leidener

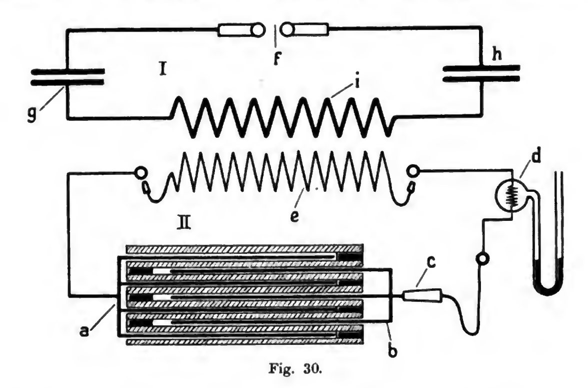


Fig. 30.

Flaschen, *i* ist die Primärspule eines Transformators. Der Resonanzkreis× besteht aus der sekundären auswechselbaren Spule *e*, dem

× Die Kopplung ist selbstverständlich viel loser zu nehmen, als in der Figur gezeichnet.

Digitized by Google

variablen Kondensator *a b* und, als Resonanzanzeiger, dem Hitzdrahtinstrument *d*. Um außer der verhältnismäßig geringen Kapazitätsveränderung noch eine andere, größere Variabilität herbeizuführen, wurde bei der vorliegenden Anordnung eine stufenweise Änderung der Selbstinduktion dadurch erreicht, daß die Spule *e* auswechselbar gegen andere Spulen mit größerer oder kleinerer Selbstinduktion eingerichtet wurde.

Bei Resonanz zwischen *II* und *I* findet eine maximale Wärmeentwicklung im Hitzdrahtinstrument *d* statt, und man erhält in diesem Falle den größten Ausschlag im Thermometer.

Wesentlich ist selbstverständlich auch hier, daß, um eine Rückwirkung zu vermeiden, *II* und *I* nicht zu fest gekoppelt werden.

2. Literatur.

[1] Lodge: Nature 41, p. 368. 1890. (Easy Lecture Experiment in Electric Resonance). Lodge: (Helmholtz-Wachsmuth) „Neueste Anschauungen über Elektrizität". Leipzig 1896, p. 376 ff. — [2] Noack: Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht 15, p. 95, März 1902. (Zu den Versuchen über elektrische Schwingungen). — [3] D. R. P. 152261 „Hochspannungskondensator". Initiativ-Komitee für die Herstellung von stickstoffhaltigen Produkten in Freiburg. 23. 6. 1903. — [4] Zenneck: Elektromagnetische Schwingungen und drahtlose Telegraphie. Stuttgart 1905, p. 605. — [5] Müller, J. J. C.: Phys. Zeitschrift 6, p. 231. 1905. (Über einen einfachen Kondensator mit veränderlicher Kapazität für Abstimmungsversuche.)

---

4. Die Resonatorspule von Arco-Slaby.

1. Allgemeines. Konstruktive Ausführung.

Die Resonator- oder Meßspule von Arco-Slaby[1] stellt den ersten Frequenzmesser der strahlentelegraphischen Praxis dar. Sie beruht darauf, daß eine Spule durch Verschieben von Kontakten in Resonanz mit dem zu messenden Schwingungssystem gebracht wird, und daß bei Resonanz maximale Funken an der Spitze der abgestimmten Spule auftreten.

Die ursprüngliche Ausführungsform der Resonatorspule, wie sie etwa aus dem Jahre 1901 stammt, ist in Fig. 31 wiedergegeben. Auf den blanken Drahtwindungen in der Mitte der Spule schleifen zwei Kontakte, welche einerseits mit der oben angebrachten regulierbaren Meßfunkenstrecke, andererseits mit der Erde verbunden sind. Hinter der Meßfunkenstrecke befindet sich in einem Kästchen eine sogenannte Fritterkapazität. Ferner sind Kurzschluß-

Digitized by Google

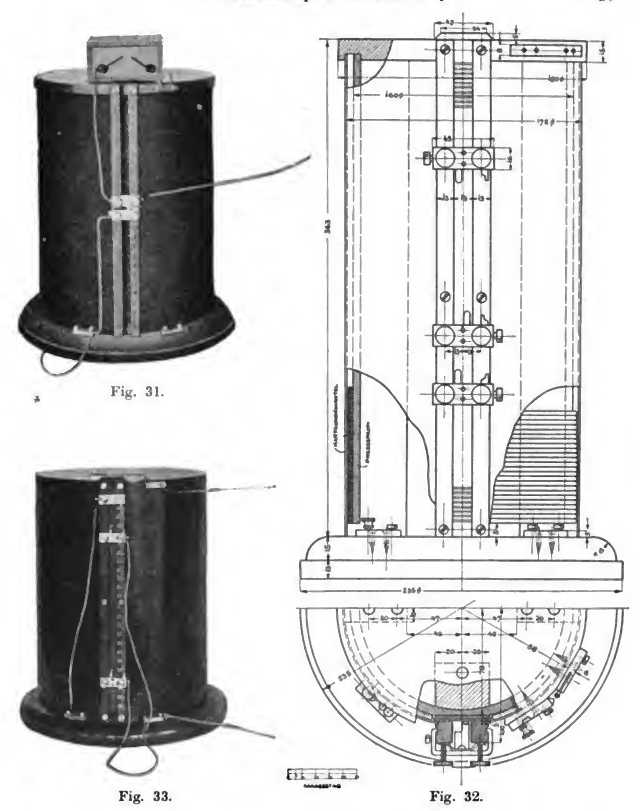


Fig. 31.

Fig. 33.

Fig. 32.

verbindungen vorgesehen, sowie solche, um die Teilbeträge der Selbstinduktion verändern zu können.

Abb. 32[×] zeigt eine Konstruktionszeichnung der Meßspule.

[×] Die obige Fig. 32 wurde von dem Verfasser nach einer von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. zur Verfügung gestellten Originalzeichnung in einer im Maschinenbau üblichen Weise umgezeichnet, wobei jedoch aus Deutlich-

Digitized by Google

Links in der Figur ist der mit Gummi isolierte Spulendraht im Schnitt zu sehen. In der Mitte schleifen auf blank gemachten Stellen Kontakte, die mit biegsamen Kabeln verbunden sind, um die im folgenden näher beschriebenen Verbindungen auszuführen. Die am oberen Spulenende angeordnete Funkenstrecke (im Grundriß rechts zu sehen) zeigt eine gedrungene Ausführungsform, um sie gegen mechanische Einflüsse möglichst unempfindlich zu machen. Die Spule ist außen mit einem Hartgummimantel versehen und auf einem Holzbrett montiert.

Fig. 33 stellt eine Abstimmspule dar für mittlere Wellen, und zwar ist die Meßfunkenstrecke entfernt. Für längere Wellen, etwa für solche von 250 m an, fand eine Spule Anwendung, die in Abb. 34 wiedergegeben ist. Bemerkenswert ist hier-

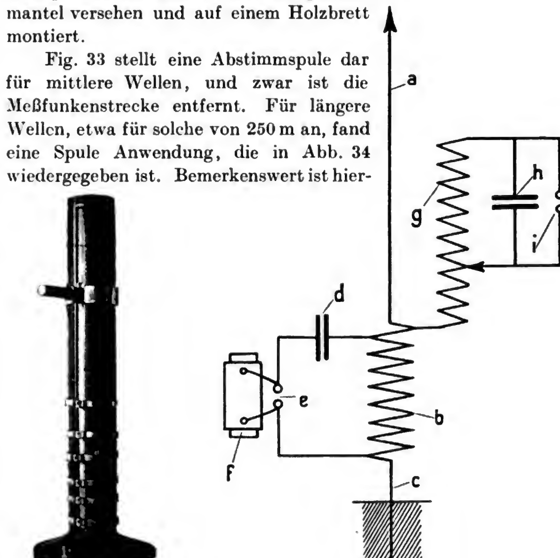


Fig. 34. Fig. 35.

bei der am Hauptkontakt angebrachte große Hartgummihandgriff. Die nicht benutzten Windungen wurden auch hierbei, um Mitschwingen auszuschließen, durch im unteren Teile des Bildes erkennbare Kontaktringe kurz geschlossen.

keitsgründen für diesen besonderen Zweck und wegen des kleinen Formates, in welchem die Reproduktion stattfinden konnte, nur die wichtigsten Maße eingetragen wurden.

Digitized by Google

2. Anwendungen der Resonatorspule.

A. Messung der Wellenlänge des Senders.

Die Art der Wellenmessung ist unabhängig von der Form der Erregung des Luftleiters. In allen Fällen wird die Resonatorspule an das untere Ende des Luftleiters direkt angeschlossen.

In Fig. 35 ist ein allgemeines Schaltungsschema für den Anschluß der Resonatorspule an den Sender dargestellt. *a* bezeichnet den Sendeluftleiter, *b* eine Selbstinduktion, *c* die Verbindung nach Erde, *d* eine Kapazität, *e* eine Funkenstrecke, *f* einen Induktor. Die Resonatorspule *g* ist an das untere Ende der Antenne *a* gelegt. Sie hat sowohl einen festen Endkontakt, wie ein bewegliches Kontaktstück. Zwischen beide ist eine kleine Meßfunkenstrecke *i* und eventuell ein Parallelkondensator (Fritterkapazität) *h* geschaltet. Sobald Schwingungen im Erregerkreis erzeugt werden und auf den Luftleiter *a* und die Meßspule *g* übertragen werden, kommt das aus letzterer und der Kapazität *h* gebildete System zum Schwingen, und in *i* treten Funken auf. Diese erreichen ihr Maximum, wenn der Kreis *gh* auf den Sendekreis abgestimmt ist. Hierbei werden die nicht benutzten Spulenwindungen, damit sie nicht störend mitschwingen und damit sie nur möglichst wenig Energie verzehren, kurzgeschlossen.

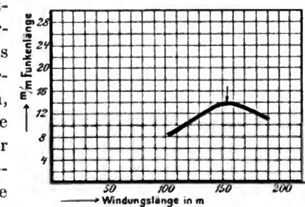


Fig. 36.

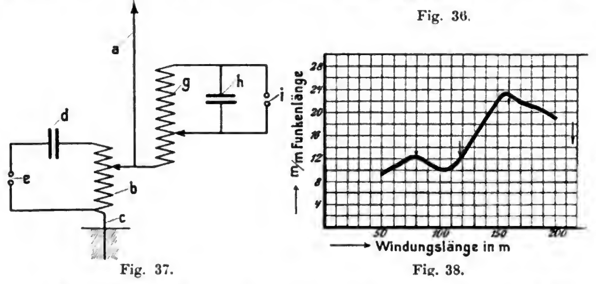


Fig. 37. Fig. 38.

Die Aufnahme von Abstimmungskurven für Sender, der die Erregung und Resonatorspulenschaltung von Fig. 35 zugrunde liegt, ist aus den Fig. 36 und 38 zu ersehen.

Digitized by Google

Fig. 36 zeigt ein einfaches scharfes Maximum bei 154 m Wellenlänge. Bei derselben Wellenlänge wurde das durch einen Pfeil markierte Maximum festgestellt, welches dadurch gefunden wurde, daß die maximale Empfangsintensität in einem entfernten Empfänger gemessen wurde.

Bei der in Fig. 37 dargestellten Erregung des Senders, bei der nur ein Teil der in beiden Kreisen, dem Erreger und der Antenne, enthaltenen Selbstinduktion gemeinschaftlich ist, zeigt die Meßfunkenstrecke zwei ausgesprochene Maxima, und zwar hat das kleinere Maximum nur eine halb so große Amplitude wie das große Maximum. (Das Auftreten zweier Maxima kommt bekanntlich daher, daß zwei Schwingungssysteme mit je einer Kapazität, die einer Schwingung entspricht, vorhanden sind; bei genügend loser Kopplung eines Oszillators mit einem Resonator werden in letzterem stets zwei Wellen hervorgerufen, von denen die eine der Wechselzahl des Oszillators, die andere der des Resonators entspricht.)

Fig. 40 zeigt den Verlauf der Resonanzkurve für induktive Kopplung des Erregerkreises mit dem Sender (Schaltung Fig. 39). Hierbei war die den beiden Systemen gemeinschaftliche Selbstinduktion ziemlich groß und die Kopplung daher gleichfalls verhältnismäßig fest. Das Auftreten zweier Wellen geht aus der Abbildung deutlich hervor. Die Amplitudenunterschiede der beiden hierbei gefundenen Maxima sind indessen nicht groß. Auch hier bestätigte der Empfangsversuch das Maximum der längeren Welle bei 155 m (durch Pfeil in der Figur vermerkt).

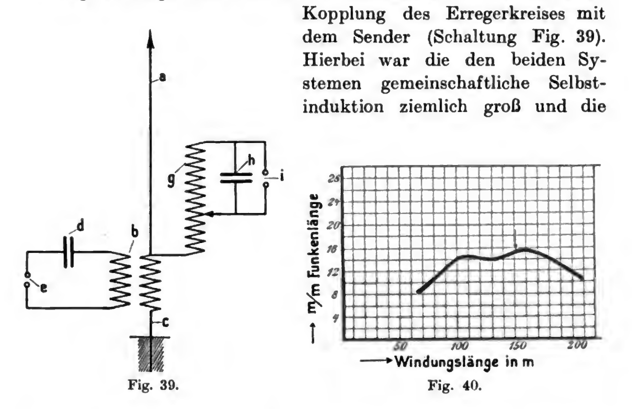


Fig. 39. Fig. 40.

Digitized by Google

B. Messung der Wellenlänge des Empfängers.

Die Frequenz des Empfängers kann in zweifacher Weise bestimmt werden, nämlich entweder durch sogenannte Fernwellenmessung, oder indem die Empfangsantenne von einem kleinen Sender aus erregt wird. Die erstgenannte Methode verdient den Vorzug, da sie mit den praktischen Verhältnissen übereinstimmende Betriebsbedingungen aufweist. Die zweite Methode muß jedoch zuerst beschrieben werden, da sie, oben bei Aufsuchung der Resonanzstellungen, Verwendung fand.

In Fig. 41 ist eine derartige Schaltung mit direkter Erregung (Marconi-Sender) dargestellt. *a* ist der Empfangsluftleiter, *b* ein Induktor, *c* die Ladefunkenstrecke, *d* die Meßspule, *e* eine Kapazität, und zwar eine sogenannte Fritterkapazität, d. h. eine solche, welche in ihrem Kapazitätswert etwa die Größe eines Keilspaltfritters der A. E.-G. besitzt. *f* ist eine kleine Meßfunkenstrecke, *g* die Verbindung nach Erde. Bei späteren Ausführungen wurde die Kapazität *e* fortgelassen und stattdessen die auf der Meßspule abgelesenen Werte mit einem Zahlenfaktor (0,54) multipliziert. Sobald der Meßspulenkreis auf den offenen Schwingungskreis abgestimmt ist, treten maximale Funken in *f* auf. Diese Stellung der Meßspule wird dann beibehalten, die Funkenstrecke *c* metallisch überbrückt, nachdem der Induktor abgeschaltet ist, und die Kombination von *f* und *e* durch einen normalen Körnerfritter ersetzt. Die nicht benutzten Spulenwindungen werden auch hier, um ihr Mitschwingen und dadurch eine Energieverzehrung und Rückwirkung zu vermeiden, kurzgeschlossen.

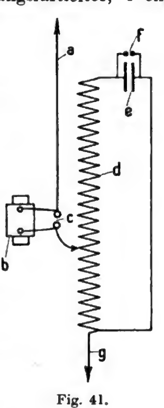


Fig. 41.

Es ist nun nicht nötig, die Meßspule direkt an den Sender anzuschließen. Dieselbe kann vielmehr auch induktiv mit dem Geber verbunden werden. Voraussetzung hierfür ist allerdings, wenigstens wenn man so verhältnismäßig unempfindliche Resonanzindikatoren wie gewöhnliche Funkenstrecken benutzt, daß die beiden Kreisen gemeinsame Selbstinduktion genügend groß bemessen ist, daß also die Kopplung verhältnismäßig sehr fest gewählt wird. Zu diesem Zweck kann man auf dem Sender einige Windungen (eine Windung genügt eventuell auch schon) einschalten und so

Digitized by Google

die Resonatorspule erregen. Bei der Erregung der Spulen sind nun zwei Fälle zu unterscheiden:

A. Die Meßspule ist isoliert angeordnet, dann schwingt sie bei Resonanz in $\lambda/2$,

B. die Meßspule ist mit ihrem unteren Ende mit Erde oder einer entsprechenden Gegenkapazität verbunden, dann schwingt sie in $\lambda/4$, indem an dem oberen Ende maximale elektrische Erschütterungen auftreten.

Im Falle, daß es unmöglich ist, den Sender mit einem zusätzlichen Betrage von Selbstinduktion zu versehen, kann man entweder die Meßspule mit einem geraden Draht ausrüsten, welche als Gegengewicht derart wirkt, daß die Spule wie unter B schwingt, oder man ordnet zwei Meßspulen symmetrisch an, indem die entsprechend gegenüberliegenden Stellen mit einer metallischen Brücke versehen werden und indem die entgegengesetzten Stellen durch eine Geißler-Röhre verbunden werden, die bei Resonanz maximal aufleuchtet.

Eine den praktischen Bedürfnissen mehr entsprechende Abstimmungsart ist in Fig. 42 wiedergegeben. *a* stellt den Luftleiter dar, *b* die Verbindung nach Erde, *c* ist die Meßspule, *d* ein Kondensator möglichst großer Kapazität, *e* eine elektrolytische Zelle (z. B. nach Ferrié, Schlömilch oder Fessenden), *f* sind Drosselspulen, um die Hochfrequenzströme vom Anzeigeinstrument *g* (zweckmäßig einem Telephon) fernzuhalten, *h* ist eine Spannungsquelle. Die Meßspule wird so lange verändert, bis im Indikationsinstrument eine Maximalwirkung auftritt. Will man an Stelle der elektrolytischen Zelle *g* einen Körnerfritter verwenden, so muß man, da die Kapazität des letzteren erheblich kleiner ist, an *d* nachregulieren, so zwar, daß der resultierende Kapazitätswert derselbe bleibt.

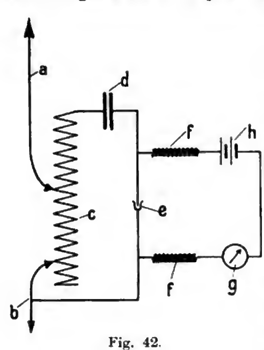


Fig. 42.

3. Eichung der Resonatorspule.

Von grundlegender Bedeutung war die Untersuchung des Verhältnisses zwischen eingeschalteter Windungszahl und Teilung, d. h. die Frage, ob die Resonatorspulen im allgemeinen eine proportionale Teilung besitzen.

Digitized by Google

Die Eichung wurde anfangs so ausgeführt, daß ein Paralleldrahtsystem von einem veränderlichen geschlossenen Kreis aus erregt wurde und die so entstehenden Wellenlängen auf der Resonanzspule vermerkt wurden.

Später wurde die Eichung in der Weise durchgeführt, daß die Resonatorspule von einem als Sender ausgebildeten Franke-Dönitzschen Wellenmesser (s. Franke-Dönitz, S. 67 ff.) induktiv erregt wurde und zu jeder genau zu bestimmenden Stellung des Franke-Dönitzschen Wellenmessers die betreffende Wellenlänge abgelesen wurde, bei der maximale Funkenlängen in der Meßfunkenstrecke auftraten.

In Fig. 43 ist *I* der als Sender ausgebildete Franke-Dönitzsche Wellenmesser, *II* ist die Meßspule. *a* ist eine kleine Funkenstrecke, *b* der Drehkondensator, *c* die feste geeichte Selbstinduktion des Wellenmessers. *d* stellt die Windungen der Resonatorspule dar mit Skala und variablem Schleifkontakt. *e* ist die Meßfunkenstrecke, *f* ein kleines Gegengewicht (Kapazität). Die nicht benutzten Windungen der Resonatorspule wurden kurzgeschlossen.

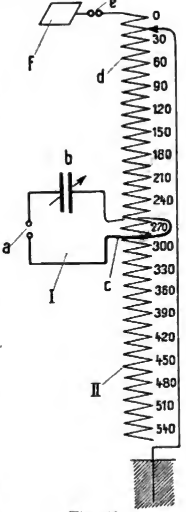


Fig. 43.

Die aufgenommene Kurve ist in Fig. 44 wiedergegeben. Sie zeigt einen nahezu geradlinigen Verlauf als Funktion der an der Resonatorspule angebrachten Skala der Windungslängen von den mittels des geeichten Wellenmessers erzeugten Schwingungen.

4. Theorie und Rechnung.

Die theoretischen Grundlagen der Schwingungsvorgänge in Resonatorspulen sind von Seibt[2] in seiner Abhandlung über „Elektrische Drahtwellen mit Berücksichtigung der Marconischen Wellentelegraphie“ gegeben worden.

Es würde zu weit führen, die genaue Entwicklung und Ableitung der einzelnen Ausdrücke mitzuteilen, und es muß daher auf die Seibtsche Originalveröffentlichung verwiesen werden. Indessen sind einige wesentliche Punkte dieser Arbeit, insbesondere solche, die auf die Resonatorspule direkt Bezug haben, in folgendem wiedergegeben:

Nachdem Seibt die Grundgleichungen für den durch Zuleitung (an einen Sendekreis angeschlossenen) erregten Resonator auf-

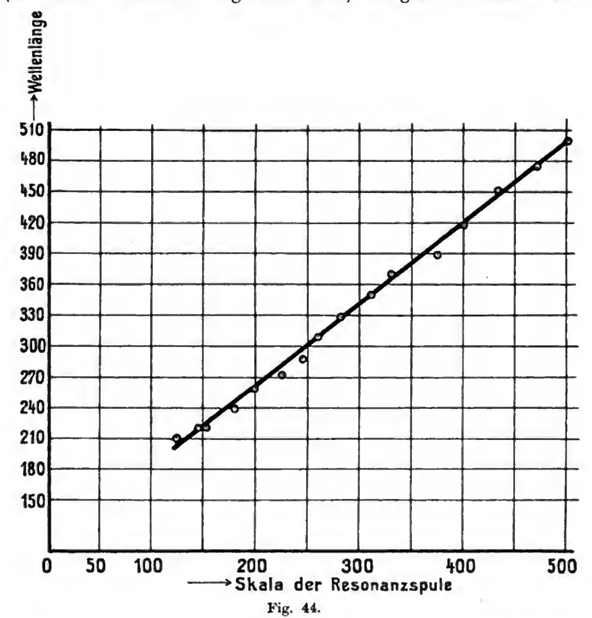


Fig. 44.

gestellt hat und in diese die zuerst von Steinmetz in die Wechselstromtechnik eingeführten Symbole eingesetzt hat, kommt er für den beliebig gestalteten Resonator zu folgenden Ausdrücken:

Für die Spannung:

$$V_{x\,\max} = \sqrt{(\eta_1{}^2 + \vartheta_1{}^2)\, e^{2ax} + (\eta_2{}^2 + \vartheta_2{}^2)\, e^{-2ax} + 2\,(\eta_1\eta_2 + \vartheta_1\vartheta_2)\cos 2bx + 2\,(\eta_1\vartheta_2 - \eta_2\vartheta_1)\sin 2bx}$$

Für den Phasenwinkel der Spannung:

$$tg\varphi = \frac{\sin bx\,(\eta_1 \,.\, e^{ax} - \eta_2\, e^{-ax}) + \cos bx\,(\vartheta_1\, e^{ax} + \vartheta_2\, e^{-ax})}{\cos bx\,(\eta_1\, e^{ax} + \eta_2\, e^{-ax}) + \sin bx\,(\vartheta_2\, e^{-ax} - \vartheta_1\, e^{ax})}$$

Die Amplitude der Stromstärke folgt aus:

Digitized by Google

$$J_{x\,\max} = \sqrt{(\varrho_1^2 + \sigma_1^2)\, e^{2ax} + (\varrho_2^2 + \sigma_2^2)\, e^{-2ax} + 2\,(\varrho_1\varrho_2 + \sigma_1\sigma_2)\cos 2bx + 2\,(\varrho_1\sigma_2 - \varrho_2\sigma_1)\sin 2bx}.$$

Der Phasenwinkel der Stromstärke:

$$tg\,\psi = \frac{\sin bx\,(\varrho_1 \,.\, e^{ax} - \varrho_2\, e^{-ax}) + \cos bx\,(\sigma_1\, e^{ax} + \sigma_2\, e^{-ax})}{\cos bx\,(\varrho_1 \,.\, e^{ax} + \varrho_2\, e^{-ax}) + \sin bx\,(\sigma_2\, e^{-ax} - \sigma_1\, e^{ax})}$$

In den genannten vier Gleichungen des direkt erregten Resonators bedeuten a und b die „charakteristischen Faktoren“, da sie lediglich von der physikalischen Beschaffenheit und von der Frequenz abhängen. η_1, η_2 und ϑ_1, ϑ_2 folgen aus den Gleichungen:

$$k_1 = \eta_1 + i\,\vartheta_1$$
$$k_2 = \eta_2 + i\,\vartheta_2$$

wo k_1 und k_2 reell oder komplex sein können und direkt folgen aus dem Spannungsintegral. ϱ_1, ϱ_2 und σ_1, σ_2 ergeben sich in ähnlicher Weise aus dem für den Stromverlauf gefundenen Ausdruck. dx ist ein Leiterelement, für welches die Stromstärke als konstant anzusehen ist.

Die graphische Darstellung der Exponential-Funktion und damit der im Resonator auftretenden Schwingungen zeigt deutlich die auch von Sommerfeld diskutierte Verkleinerung der Wellenlänge und Fortpflanzungsgeschwindigkeit infolge der Dämpfung. Wenn man letztere nicht in Ansatz bringt, ergibt sich die Wellenlänge zu:

$$\lambda = \frac{T}{\sqrt{CL}},$$

und da allgemein ist

$$l = \frac{m}{4}\,\lambda,$$

so folgt

$$mT = 4l\sqrt{CL}$$

Für den uns hier besonders interessierenden am hinteren Ende geschlossenen Resonator, d. h. geschlossenen Schwingungskreis, vereinfachen sich die obigen vier Gleichungen, indem: $\eta_1 = \eta_2$ und $\vartheta_1 = -\vartheta_2$ wird:

$$V_{x\,\max} = \sqrt{\eta_1^2 + \vartheta_1^2}\,.\cos\left(bx + \frac{\beta}{2}\right), \text{ wo}$$

$$tg\beta = \frac{2\eta_1\vartheta_1}{\eta_1^2 - \vartheta_1^2} \text{ ist.}$$

Digitized by Google

Der Strom ist wattlos, da er infolge der Einschaltung des Kondensators um 180° gegenüber der Spannung in der Phase verschoben ist.

Für die Wellenlänge des spulenförmigen Oszillators findet eibt die Formel

$$\lambda = \frac{2l}{n}$$

wo n eine beliebige ganze Zahl darstellt. Dieser Ausdruck besagt, daß ein mit Kapazität und Selbstinduktion gleichmäßig belasteter Erreger harmonische Oberschwingungen ausführt, die im einfachen Verhältnis zur Länge stehen.

5. Kritik.

Die Arco-Slabysche Resonatorspule war der erste technisch brauchbare Wellenmesser, der seit August 1901 bei einer großen Zahl funkentelegraphischer Installationen und Abstimmungen der A. E.-G. angewendet wurde. Mit der Resonatorspule wurde zum ersten Male das Auftreten zweier Wellen in gekoppelten Schwingungssystemen der Strahlentelegraphie von Scheller praktisch nachgewiesen.

Die Dämpfung der Resonatorspule durch Hertzsche Strahlung ist nicht sehr bedeutend. Die bei den ersten Ausführungen im wesentlichen vorhandenen Dämpfungen kamen in der Hauptsache durch die Meßfunkenstrecke hinein. Als Vorteile der Meßspule sind neben ihrer Wohlfeilheit die Konstanz zu nennen, indem sich die Spulenkonstanten mit der Zeit kaum ändern.

Als Nachteile muß die Kapazitätsempfindlichkeit der Resonatorspule genannt werden, sowie die verhältnismäßig geringe Empfindlichkeit und Genauigkeit. Letztere beträgt für den Sender ca. 5%, für den Empfänger (bei Transformatorschaltung) ca. 7%. Für mittlere und große Wellenlängen, wie sie heute üblich sind, kommt die Resonatorspule nicht mehr in Frage.

6. Literatur und Patente.

[1] Arco: E.T.Z. 24, p. 6. 1903. (Über ein neues Verfahren zur Abstimmung funkentelegraphischer Stationen.) — D. R.-P. Nr. 138144: „Verfahren zur Abstimmung funkentelegraphischer Stationen ohne die Zuhilfenahme von Fernwirkungen." A.E.G. 1./1. 1902. — D. R.-P. Nr. 143301: Zusatz zu 138144 „Verfahren zum Abstimmen verschiedener funkentelegraphischer Stationen auf ein und dieselbe Wellenlänge. A.E.G. 9./1. 1903. — [2] Seibt: Dissertation Rostock 1902 und E.T.Z. 20, p. 315, 341, 365, 386, 409. 1902. (Elektrische Drahtwellen mit Berücksichtigung der Marconischen Wellentelegraphie.)

Digitized by Google

5. Der geeichte Oszillator von Shoemaker.

(Vorrichtung zur Erzeugung von Schwingungen bestimmter Frequenz.)

1. Allgemeines.

Der Oszillator von Shoemaker dient dazu, Schwingungen bestimmter Frequenz, welche an einer geeichten Skala abgelesen werden können, zu erzeugen. Zu dem Zwecke ist ein kalibrierter, regulierbarer Kondensator mit einer Selbstinduktion und einer Funkenstrecke verbunden. Jeder Kondensatorstellung entspricht eine in dem Kreise erzeugte Frequenz, wobei der Kreis direkt durch einen Induktor oder einen anderen Hochspannungstransformator mit Funkenstrecke erregt wird. Der Meßvorgang ist dementsprechend folgender:

Der erregte Oszillator wird dem abzustimmenden Sender oder Empfänger, welcher einen Indikator besitzen muß, genähert (lose koppeln), und es werden die Senderdimensionen so lange variiert, bis bei der gewünschten Kondensator- (Frequenz-) Stellung das Maximum im Indikationskreise vorhanden ist. Es gelingt auf diese Weise, Sender und Empfänger mit einem einfachen Instrument abzustimmen.

2. Konstruktion.

Fig. 45 gibt den Oszillator im Grund- und Aufriß, teilweise im Schnitt wieder. Fig. 46 zeigt einen Schnitt durch den variablen Kondensator und den die einzelnen Teile verbindenden Kasten *1*. In demselben sind die festen Kondensatorplatten *2'*, welche aus Kupfer bestehen, und die beweglichen Platten *2*, die in einer Schlittenanordnung *4*, *36* bewegt werden, angeordnet. Zwischen beiden sind mit Spiel Glasplatten *3* derart angeordnet, daß das Dielektrikum somit aus Glas und Luft besteht. Die Glasplatten nehmen, wie aus Fig. 45 ersichtlich ist, die gesamte Kastenhöhe ein. Durch die gezeichnete Anordnung der Belegungen *2* und *2'* wird ein Überschlagen von Funken so gut wie vollkommen vermieden. Die Kondensatorbelegungen *2'* sind nun mit einem Kontakt *24* und einer Klemmschraube *12* verbunden, welche ihrerseits an eine nur einige Windungen enthaltende primäre Transformatorspule *22* angeschlossen ist. Das andere Ende dieser Spule *22*, die in einem besonderen, auf *1* aufgesetzten Kasten *28* eingeschlossen ist, steht in Verbindung mit einer regulierbaren, in Preßgas arbeitenden Funkenstrecke *19*, deren anderer Pol an eine aus leitendem Material

Digitized by Google

hergestellte Skala *13* angeschlossen ist. Mit dieser verbunden ist die Klemmschraube *12* und damit auch das Schraubengewinde *5* und die veränderlichen Kondensatorplatten *2*. Ferner ist noch

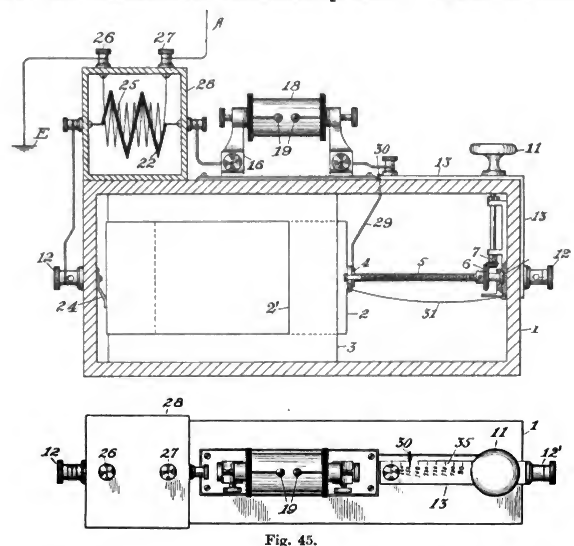


Fig. 45.

ein biegsamer Verbindungsleiter *31* von *12* nach dem die Platten *2* zusammenhaltenden Querstück *4* gezogen. Die Schraube *5* wird

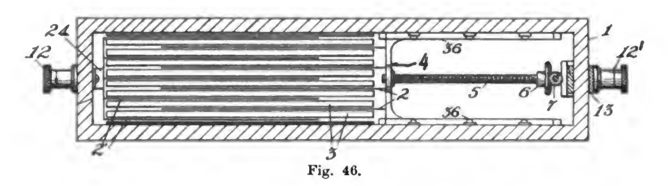


Fig. 46.

durch eine Kegelradübersetzung *6*, *7*, die durch einen Drehknopf *11* angetrieben wird, bewegt. Mit *5* verbunden ist ein durch das Gehäuse hindurchgeführter Zeiger *29*, *30*, der die Skala *13* be-

Digitized by Google

streicht. Letztere kann in Kapazitätswerten oder Frequenzen (Wellenlängen) oder praktisch auch in $^1/_4$ Wellenlängen geeicht werden. Die Eichschaltung ist in Fig. 47 unten dargestellt.

Die Übertragung der Energie auf den Luftleiter wird mittels des eisenlosen Transformators *25, 22* bewirkt, dessen Sekundärpole *25* an die Klemmen *26, 27* geführt sind. An letztere wird Erde *E* bzw. die Antenne *A* angelegt.

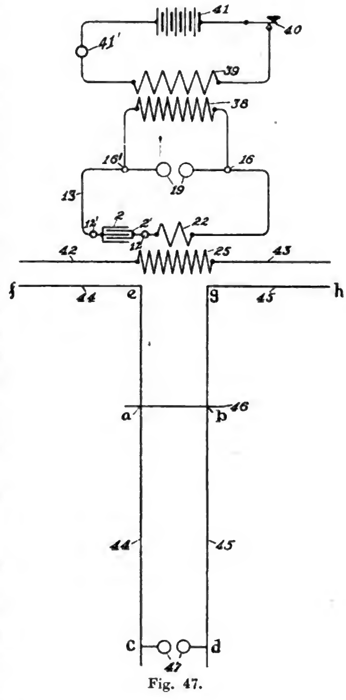


Fig. 47.

Die Eichung seines Oszillators bewirkt Shoemaker mit dem Lechersystem nach Fig. 47. Mit der Funkenstrecke *19* ist ein Hochspannungstransformator *38, 39* verbunden. *41'* ist ein Unterbrecher, *41* eine Spannungsquelle, *40* ein Stromschlüssel. An die sekundäre Hochspannungstransformatorspule *25* sind zwei Leiter *42, 43* angeschlossen, welche auf die Leiter *44, 45* induzieren. *46* ist eine verschiebbare Brücke, *47* eine Funkenstrecke als Resonanzanzeiger.

Praktisch kommen etwa folgende Dimensionen in Betracht:

Die Wellenlänge des Senders betrage 200 m (bei einer Antennenlänge von 50 m), dann muß die Brücke *46* und die Funkenstrecke *47* so eingestellt werden, daß die Abstände *a c* und *b d* etwa 50 m sind, und daß die Entfernungen *a e f* und *b g h* ebenfalls je 50 m betragen. Darauf wird der Kondensator *2, 2'* durch Drehen an *11* so lange verstellt beim Funkengeben, bis maximale Funken in *47* auftreten. Die betreffende Resonanz-

Digitized by Google

stellung wird auf der Skala *13* markiert. Auf diese Weise können eine Anzahl von Punkten aufgenommen werden, und die anderen Punkte können interpoliert werden.

3. Kritik.

Der Oszillator erinnert in seinen konstruktiven Einzelheiten an 1901/1902 gebräuchliche kontinentale Ausführungsformen. So scheint die Funkenstrecke abgesehen von der Anwendung des Preßgases z. B. direkt von Konstruktionen der Braun-Siemens-Gesellschaft übernommen zu sein. Indessen verrät die Formgebung einen geschickten Konstrukteur, der für den begrenzten Wirkungskreis, den ein derartiger geeichter Oszillator besitzt, einen guten Montageapparat durchgebildet hat. Die gedrungene, Platz sparende Anordnung und die kurzen Zwischenleitungen sind besonders hervorzuheben. Günstig ist auch die nahezu konstante Kopplung des Oszillators. Von Nachteil ist der kleine Meßbereich des Oszillators, welcher teilweise durch die Kondensatorkonstruktion bedingt ist; aber es ist wohl anzunehmen, daß Shoemaker mehrere, verschieden groß bemessene, auswechselbare Spulen *22* verwendet hat. Quantitative Messungen in der Art, wie sie z. B. mit dem Franke-Dönitzschen Wellenmesser möglich sind, sind mit dem geeichten Oszillator selbstverständlich nur zum Teil möglich. Die zulässige Belastung des Kondensators dürfte, wenn Büschel- und Randentladungen vermieden werden sollen, nur gering sein.

4. Patente.

Der Oszillator von Shoemaker ist geschützt durch das amerikanische Patent Nr. 717774 „Oszillator", ang. am 10./11. 1902, ert. am 6./1. 1903.

---

6. Das Frequenzmeßsystem von Drude.

1. Schaltungsschema und konstruktive Ausführung.

A. Anordnung für kurze Wellen (unterhalb 12 m Länge).

Wenn man die Wellenlänge eines gegebenen Kondensatorkreises (Primärkreises) bestimmen will, verwendet man nach Drude[1] folgendes (sekundäres) Meßsystem:

Aus zwei 1 mm starken, genau parallel gezogenen Kupferdrähten (Kombination der Lecherschen Doppeldrähte), welche an einem Ende in sich geschlossen sind, wird das Sekundärsystem S ge-

Digitized by Google

bildet (Fig. 48); dieses wird durch einen verschiebbaren Metallbügel *M* geschlossen, der zweckmäßig mit einem über einer Skala laufenden Zeiger verbunden ist. Die Paralleldrähte müssen mindestens 6 cm von der Unterlage entfernt gespannt werden, da sonst die Wellenlänge infolge der größeren Dielektrizitätskonstante der Unterlage,

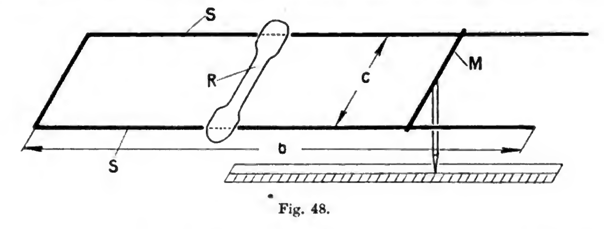


Fig. 48.

die z. B. aus Holz besteht, merkbar vergrößert wird. Auf die Paralleldrähte wird als Resonanzindikator eine luftverdünnte Röhre *R*, vorteilhaft eine mit Natriumdampf[2] gefüllte oder eine Heliumröhre[3] gelegt, welche bei Resonanz hell aufleuchtet. Diese Natriumröhren dämpfen das System außerordentlich wenig und sprechen leicht an.

B. Für Wellen von 12—50 m Länge.

Hierbei wird das bisher offene Ende des Sekundärsystems durch einen Kondensator mit veränderlichem Plattenabstand geschlossen. Die Anordnung ist folgende:

Ein aus 1 mm starken parallelen Drähten in 2—3 cm Abstand voneinander bestehendes System ist an einem Ende metallisch geschlossen und auf Hartgummifüßen gelagert. Zwischen den offenen Enden befindet sich ein veränderlicher Kondensator, der aus zwei eben geschliffenen, roh polierten, kreisförmigen Metallplatten von etwa 12 cm ϕ, die in einem Abstande von 0,5 mm bis 1 mm durch Hartgummipassstücke gehalten werden, gebildet wird. Hierbei können die Kondensatorplatten horizontal oder vertikal angeordnet werden. Eine vertikale Ausführungsform zeigt Fig. 49. Die eine Platte wird vorteilhaft durch eine Schraube gegen die andere Platte beliebig verstellt. An die Außenflächen der Kondensatorplatten werden innen ausgebohrte, ca. 1 mm lange Kupferzylinder gelötet. Diese Zylinder werden mit Quecksilber gefüllt, in das die Enden der Sekundärleitung eintauchen. Auf den Drähten verschiebbar ist ein Metallbügel *M* angeordnet, welcher einen, eine Skala bestreichenden

Digitized by Google

Zeiger trägt. Selbstverständlich kann der Bügel M für ganz exakte Messungen seitlich besonders geführt werden. Als Resonanzindikator wird auch in diesem Falle eine Vakuumröhre bzw. eine mit

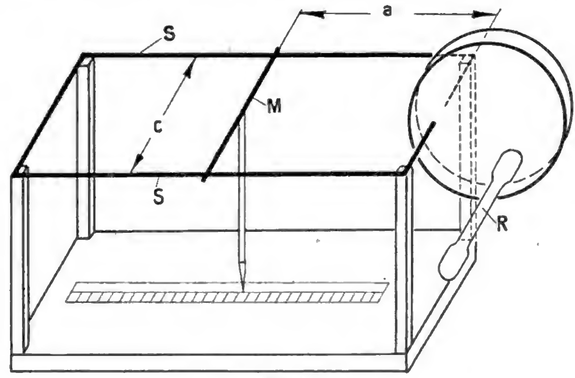


Fig. 49.

Natriumdampf gefüllte Röhre benutzt. Letztere wird in die Nähe der einen der beiden Kondensatorplatten gehalten. Diese Methode ist sehr empfindlich, aber wegen des verhältnismäßig geringen Leuchteffektes der Röhre nur in einem verdunkelten Raume, der allerdings auch durch eine über die Röhre gestülpte Kappe ersetzt werden könnte, ausführbar. In hellen Räumen kann man als Resonanzanzeiger vorteilhaft das Funkenspiel zwischen den Kondensatorplatten beobachten, bzw. man kann die Kondensatorplatten inbesondere bei Anwendung von Öl als Isolator zwischen den Platten mit einer kleinen Funkenstrecke (Luftfunkenstrecke) versehen. Die damit erzielte Meßgenauigkeit soll mindestens noch 2 % betragen.

Eine andere Ausführungsform des veränderlichen variablen Kondensators nach Drude zeigt Fig. 50. Dieser Kondensator ist indessen einer von Kohlrausch angegebenen Konstruktion sehr ähnlich.[×]

Hierin bezeichnet *a* eine hölzerne Grundplatte, *b* zwei Vertikalstützen, die oben Führungsbuchsen *c* tragen, in denen zylindrische

× Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik 1888—90, 3. Band, p. 237.

Digitized by Google

Hartgummiführungen verschoben werden können. Der eine Teil d kann fest sein, der andere ist beweglich und mit einer Skala versehen. Durch die zweckmäßig aus Hartgummi gefertigten Arme e und f werden die aus Metall hergestellten Kreisplatten g fixiert.

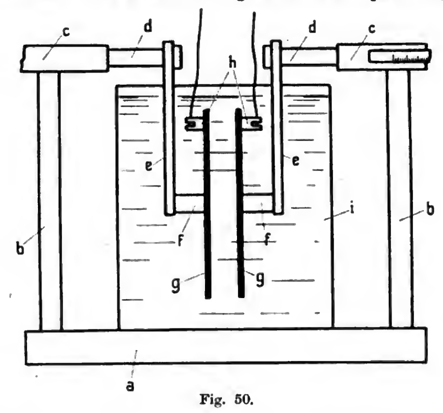


Fig. 50.

An letztere sind die Zuführungsdrähte h angeschlossen. Die Kondensatorplatten können entweder in Luft benutzt werden, oder sie werden, wie in der Figur dargestellt, in ein einen Isolator beliebiger Dielektrizitätskonstante enthaltendes Gefäß i gestellt. Bei Füllung des Gefäßes mit Petroleum oder Paraffinöl werden Funken- oder Büschelentladungen sicher vermieden. Auch ist hierbei Absorption im Dielektrikum, die bei Verwendung von Glas, dessen Dielektrizitätskonstante von der Frequenz abhängt, auftritt, so gut wie völlig ausgeschlossen. Um verschieden große Wellenlängenmeßbereiche herzustellen, schlug Drude vor, verschieden lange Drahtsysteme S zu verwenden.

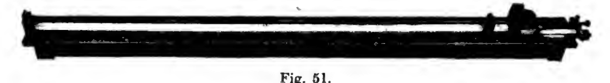


Fig. 51.

Fig. 51 zeigt eine Ausführungsform des Drudeschen Frequenzmeßsystems von M. Kohl in Chemnitz.

Der Apparat besteht aus einem kleinen Kondensator und zwei

Digitized by Google

daran angeschlossenen, 1 mm starken, parallel ausgespannten Kupferdrähten, die auf einer ungefähr 2 m langen hölzernen Grundplatte angeordnet sind. Als Resonanzindikator dient eine Vakuumröhre, zur Messung wird eine Drahtbrücke verwendet. Die dargestellte Anordnung dient dazu, Wellenlängen von 12—50 m zu bestimmen. und kann auch zur Messung noch größerer Wellenlängen dienen wenn die Kondensatorplatten größer ausgeführt werden oder die Kondensatorplatten in einen Isolator hoher Dielektrizitätskonstante gestellt werden.

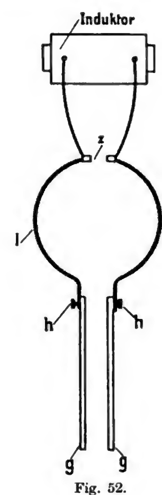


Fig. 52.

C. Für lange Wellen.

1. Primärsystem (Erreger).

Für noch längere Wellen, als oben angegeben, hat Drude[4] neuerdings eine Abänderung seiner Meßvorrichtung mitgeteilt, welche in folgendem besteht:

An den Klemmen *h* (Fig. 52) des variabelen Kondensators *g* ist eine aus einer oder mehreren Windungen bestehende, genau symmetrische Selbstinduktion *l* angeschlossen, welche die Zinkfunkenstrecke *z* enthält. Letztere wird von einem kleinen Induktor gespeist.

Die Wellenlängen, die mit einer derartigen Kombination zu erhalten sind, sind nach Drude:

1 Windung des Selbstinduktionsringes bei 10 cm Durchmesser, 1 mm Drahtstärke und 12 cm langen Zuleitungen zu den Kondensatorplatten	bei Plattenabst. = 8 mm $\lambda = 13$ m bei Plattenabst. = 2 mm $\lambda = 26$ m
3 Windungen; Durchmesser des Selbstinduktionsringes = 10 cm, bei 1 mm Drahtstärke und 12 cm langen Zuleitungen	bei Plattenabst. = 8 mm $\lambda = 22$ m bei Plattenabst. = 2 mm $\lambda = 44$ m
5 Windungen; Durchmesser des Selbstinduktionsringes = 10 cm, bei 1 mm Drahtstärke, 12 cm langen Zuleitungen	bei Plattenabst. = 3 mm $\lambda = 56$ m

Digitized by Google

7 Windungen; Durchmesser des Selbstinduktionsringes = 10 cm, bei 1 mm Drahtstärke, 12 cm langen Zuleitungen	bei Plattenabst. = 2 mm $\lambda = 84$ m

Man kann durch Vergrößerung der Selbstinduktion auf diese diese Weise die Wellenlänge beliebig vergrößern und somit auch Wellenlängen erzielen, welche sich den praktisch gebrauchten nähern.

2. Sekundärsystem (zu messendes System).

Hierfür kann das in Fig. 48 dargestellte Schwingungssystem benutzt werden, welches zweckmäßig durch magnetische Kopplung erregt wird, indem die Paralleldrähte durch $l\,l$ (Erreger von Fig. 52) hindurchgeführt werden. Für größere Wellenlängen wird die Anordnung unbequem. Daher werden nach Drude zweckmäßig die Paralleldrähte mehrere Male rechtwinklig geknickt, wie Fig. 53 zeigt,

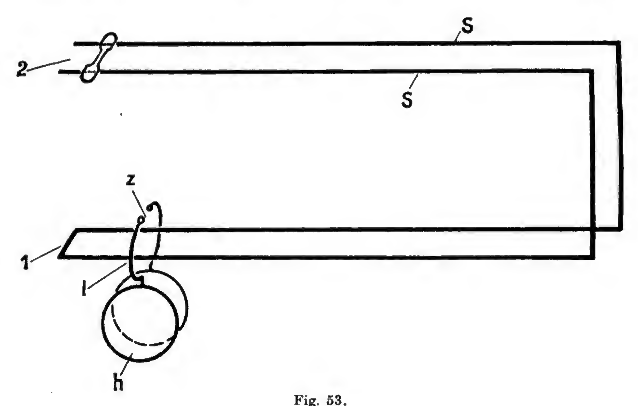


Fig. 53.

wodurch die Eigenschwingung des Systems praktisch nicht wesentlich verändert wird.

Eine weitere Verminderung der Drahtlänge wird nach Drude dadurch erzielt, daß die freien Enden nicht metallisch geschlossen werden, sondern nur das eine Ende. Bei *1* liegt der Spannungsknoten, bei *2* der Spannungsbauch. Daher können die Drähte bei *1*, auch ohne daß auf die Isolation allzu großer Wert gelegt wird,

Digitized by Google

bequem isoliert werden. Bei 2 werden die Drähte durch Fäden gehalten.

Es muß bei dieser Anordnung darauf geachtet werden, daß der Abstand der Drähte überall konstant bleibt, da sonst die halbe Eigenwellenlänge nicht mehr gleich der Länge der gesamten Drahtleitung ist. Messungen haben gezeigt, daß, wenn der Abstand im allgemeinen 5 cm beträgt und an einigen Stellen auf 6 cm steigt, hierdurch bereits Fehler von ungefähr $5^0/_0$ in die Rechnung hineinkommen können, da die Kapazität an jenen Stellen um entsprechende Beträge kleiner geworden ist.

Für größere Wellenlängen wird das oben unter B angeführte Resonanzsystem benutzt.

2. Theorie und Berechnung.

a) Die Wellenlänge des Drudeschen Meßsystems für kurze Wellen und bei Anwendung einer Vakuumröhre als Resonanzanzeiger ergibt sich ohne weiteres aus den Dimensionen des Paralleldrahtsystems S. Es ist nämlich die Wellenlänge $\lambda = 2b + 2c + 3$ cm, wo 3 cm das Äquivalent der Kapazität der Vakuumröhre ist.

b) Die Wellenlänge des Meßsystems für lange Wellen ergibt sich aus folgendem Ausdruck:

$$\lambda = 2\pi\sqrt{CL} + \frac{\pi}{3}\,\frac{a^2}{\sqrt{C.L}}.$$

C bezeichnet hierin die Kapazität des Kondensators, L die Selbstinduktion des rechtwinkligen Drahtbügels. Es ist, wenn man die Korrektion wegen Vergrößerung der Kapazität durch die Hartgummiplättchen vernachlässigt (der daraus entstehende Fehler ist kleiner als $0{,}2^0/_0$).

$$C = \frac{r^2}{4d} + \frac{r}{4\pi}\left(ln\frac{16\pi r(d+\delta)}{d^2} - 1 + \frac{\delta}{d}\,ln\frac{d+\delta}{\delta}\right).$$

Hierin bedeutet r den Radius der Kondensatorplatten,
d den Abstand der Kondensatorplatten,
δ die Dicke der Kondensatorplatten, die am Rande zu messen ist, da die Dicke in der Mitte für die Rechnung nicht in Betracht kommt.

Die Selbstinduktion wird aus dem Ausdruck bestimmt:

$$L = 2l\left(ln\frac{c}{\varrho} - 1{,}31\,\frac{c}{a} + 1{,}06\left(\frac{c}{a}\right)^2\right).$$

Digitized by Google

Hier ist ϱ der Drahtradius, l die Länge der ganzen, durch M abgegrenzten Sekundärleitung. Da die eine Seite c durch den Kondensator unterbrochen ist, hat man $l = 2(a + c) - (d + 2\delta)$, für $c = 3$ cm und $\varrho = 0{,}5$ mm erhält man $ln \frac{c}{\varrho} = 4{,}09$ und

a	L
10 cm	$2l \cdot 3{,}79 =$ 195 cm
100 cm	$2l \cdot 4{,}05 =$ 1670 cm
200 cm	$2l \cdot 4{,}07 =$ 3305 cm

und es ergeben sich die dazu gehörigen Wellenlängen:

a	Wenn $c = 94$ cm		Wenn $c = 184{,}6$ cm	
	$\sqrt{CL}$	λ	$\sqrt{CL}$	λ
10 cm	135	848 cm	190	1192 cm
100 cm	396	2515 cm	555	3496 cm
200 cm	557	3572 cm	780	4951 cm

3. Verwendungsarten.

Das Sekundärsystem wird vom Primärkondensatorkreis, dessen Periodenzahl bestimmt werden soll, induktiv erregt, und zwar so, daß die magnetischen Stromkraftlinien des Gebers die von dem Paralleldrahtsystem gebildete Fläche möglichst an den metallisch überbrückten Stellen durchsetzen, also an den Stellen, an denen sich die Strombäuche einstellen. Wenn man eine geradlinige Antenne zur Messung hat, legt man die Paralleldrähte S zur Antenne parallel, so daß ein Draht von S näher an der Antenne liegt, als der andere. Man kann dann mit fester Kopplung arbeiten, was jedoch wegen der Unschärfe der Resonanzkurve nicht günstig ist, wenn man den Abstand der Paralleldrähte S groß und den Abstand eines Paralleldrahtes von S und der Antenne klein macht.

Die Genauigkeit dieser Methode ist begrenzt durch die im Primärkreise verwendete Kondensatortype; wenn man nämlich für die Kapazität eine Leydener Flasche mit stark absorbierendem Glase oder einen Luftkondensator mit Rand- und Büschelstrahlung verwendet, so kann die Genauigkeit 1,4 °/₀ betragen, bei Verwendung eines Ölkondensators jedoch erhält man, wie Versuche gezeigt haben, bei 4 Einstellungen des Bügels M und bei maximalem Leuchten der Röhre R eine Genauigkeit von etwa 1,0 °/₀.

Digitized by Google

4. Kritik.

a) Vorteile.

Das Drudesche Meßsystem besitzt eine außerordentlich geringe Kapazitätsempfindlichkeit. Durch Rechnung ist ferner das System gut bestimmbar, und es ist daher verhältnismäßig einfach, die Skala anzubringen. Infolge des geschlossenen Systems ist nur eine geringe Dämpfung durch Strahlung möglich, und unter Benutzung genügend stark bemessener Kupferleiter und eines entsprechend hergestellten Kondensators kann eine geringe Joulesche Dämpfung erzielt werden. Ferner ist das System praktisch so gut wie unveränderlich.

b) Nachteile.

Für praktische Anwendungen kommt das Drudesche Meßsystem weniger in Betracht; einmal, weil die Bedienung, insbesondere wegen des Kondensators, schwierig ist, und zweitens, weil die die Praxis interessierenden Meßbereiche, nämlich Wellenlängen, die über 500 m liegen, mit dem beschriebenen Meßsystem nicht gemessen werden können oder nur dann, wenn gerade die praktischen Vorteile des Systems aufgegeben werden. Die Kopplung des Wellenmessers ist, wenn auch in nur geringem Maße, veränderlich. Ferner aber kann, wenn der Kondensator klein ist, gegenüber der Kapazität der Paralleldrähte der Fall eintreten, daß man keinen quasistationären Stromkreis mehr hat und daß hierdurch große Ungenauigkeiten in das Resultat hineinkommen können. Dieser Übelstand zugleich mit der Tatsache, daß auf die Verminderung der Verluste durch Wirbelströme und Skineffekt keine Rücksicht genommen ist, lassen das Meßsystem auch für wissenschaftliche Messungen,[5] für die es seiner Bestimmung nach wohl in erster Linie in Betracht kommen dürfte, wenig geeignet erscheinen.

5. Literatur.

[1] Drude: Zeitschrift für physik. Chemie 23. p. 267, 1897. (Zwei Methoden zur Messung der Dielektrizitätskonstante und der elektrischen Absorption bei schnellen Schwingungen.) — Drude: Ann. d. Phys. 9. p. 293, 1902. (Zur Konstruktion von Teslatransformatoren.) — Drude: Ann. d. Phys. 9. p. 590, 1902. (Zur Konstruktion von Teslatransformatoren.) — Drude: Ann. d. Phys. 9. p. 611, 1902. (Resonanzmethode zur Bestimmung der Periode der oszillatorischen Kondensatorentladung.) — [2] Warburg: Wied. Ann. d. Phys. 40, p. 1. 1890. (Natrium- und Stickstoffröhren.) — [3] Dorn: Ann. d. Physik 16, p. 784. 1905. (Heliumröhren als Resonanzindikatoren.) — [4] Drude: E.T.Z. 26, p. 339. 1905. (Die Eichung von Wellenmessern, insbesondere beim Slabyschen Multiplikationsstab.) — [5] Drude: E.T.Z. 25. 1904. p. 19. (Der Wellenmesser und seine Anwendung.) — Dönitz: E.T.Z. 25. 1904, p. 119. (Der Wellenmesser und seine Anwendung.

Digitized by Google

7. Der Franke-Dönitzsche Wellenmesser.

1. Allgemeines. Schaltung.

Der Franke-Dönitzsche Wellenmesser[1] besteht in einem geeichten Resonanzsystem, welches hervorgegangen ist aus dem im Winter 1901/02 von Zenneck angegebenen Meßsystem (s. Einleitung Fig. 4). Das geeichte Resonanzsystem setzt sich nach dem Vorgange von Bjerknes im wesentlichen aus einem mit einem Resonanzindikator versehenen geschlossenen Schwingungskreis, dessen Selbstinduktion oder Kapazität oder beide gleichzeitig veränderlich sind, zusammen und dient dazu, die Frequenz eines anderen Schwingungssystems, dessen elektrische Konstanten, die Kopplung, Dämpfung usw. oder andere Schwingungsvorgänge festzustellen, wobei das Resonanzsystem mit dem zu messenden System in irgend einer Weise elektrisch oder magnetisch gekoppelt wird. Die Veränderung der Kapazität und der Selbstinduktion des Franke-Dönitzschen Meßkreises erfolgt kontinuierlich und stufenweise und ist innerhalb weiter Grenzen möglich. Sobald Resonanz zwischen dem Meßkreise und dem zu messenden Systeme herrscht, findet der Maximalausschlag des Resonanzanzeigers (Hitzdrahtluftthermometer, Hitzdrahtwattzeiger), bzw. bei Benutzung einer luftverdünnten Geißlerschen Röhre maximales Aufleuchten derselben statt. Die jeweilige Größe der Kapazität oder Selbstinduktion ist genau bestimmbar, und damit ist auch die Frequenz und die Wellenlänge, wenn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen im Meßsystem gleich der Lichtgeschwindigkeit gesetzt wird, bekannt.

Das Wesen des Franke-Dönitzschen Wellenmessers liegt in der Art der Anordnung und konstruktiven Ausbildung der Kapazität und Selbstinduktion zu einem handlichen und leicht transportablen Ganzen. Während nämlich bei den anderen bisher besprochenen Meßsystemen die Kapazität oder Selbstinduktion entweder fest oder nur stufenweise veränderlich war, ist bei der vorliegenden Anordnung die Kapazität kontinuierlich und die Selbstinduktion stufenweise innerhalb weiter Grenzen (100 m bis ungefähr 3200 m) variabel, so daß es möglich ist, vollkommen kontinuierliche Resonanzkurven aufzunehmen. Hierbei ist die Anordnung so getroffen, daß zwangläufig mit der die Kapazität verändernden Vorrichtung (Kurbel, Handgriff) ein Zeiger verbunden ist, der die jeweilige Kondensatorstellung und damit bei entsprechenden Teilungen oder bei Benutzung von Eichkurven oder Tabellen die Frequenz genau abzulesen gestattet. Um möglichst voneinander verschiedene Meßbereiche zu erhalten, ist die Selbstinduk-

Digitized by Google

tion stufenweise veränderlich gemacht, indem entsprechend bemessene und geeichte Selbstinduktionsspulen mit dem allmählich veränderlichen Kondensator verbunden werden.

Dadurch daß die Variation innerhalb eines Wellenlängenbereiches durch die Veränderung der Kapazität bewirkt wird, ist die Kopplung mit dem zu messenden System konstant.

Kennzeichnend für den Franke-Dönitzschen Frequenzmesser ist die Konstruktion des veränderlichen Kondensators; dieser wurde 1902 von Koepsel[2] angegeben, welcher auch schon im Sommer 1902, bei den Versuchen der österreichischen Marine in Pola, einen in Wellenlängen geeichten Schwingungskreis benutzte.

Auf eine Konstanthaltung der Dämpfung ist beim Franke-Dönitzschen Wellenmesser keine Rücksicht genommen.

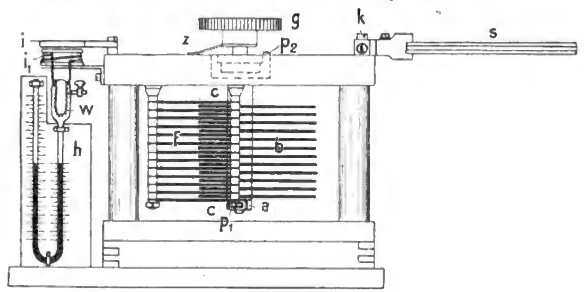


Fig. 54.

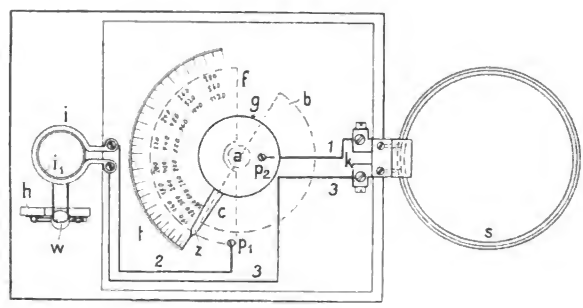


Fig. 55.

Digitized by Google

2. Konstruktive Ausführung.

In Fig. 54 ist der Franke-Dönitzsche Wellenmesser im Aufriß (mit fortgenommenem Kondensatorglas) dargestellt. Fig. 55 gibt den Grundriß wieder. Fig. 56 zeigt einen einzelnen Selbstinduktionsring, Fig. 57 einen Einsatzring zur Kopplung des Wellenmessers mit dem Luftleiter.

Der geschlossene Schwingungskreis in Fig. 54 und 55 besteht aus der Selbstinduktion s, der Kapazität bf, den Verbindungsleitungen 1, 2, 3 und der primären Transformatorspule i. Mit letzterer ist induktiv verbunden die sekundäre Transformatorspule i_1 und der Hitzdraht w des Thermometers.

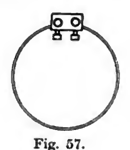


Fig. 56. Fig. 57.

Die Kapazität wird gebildet aus einem Plattenkondensator nach Koepsel mit festen, halbkreisförmig gestalteten Platten f und isoliert von diesen drehbar angeordneten, ebenfalls halbkreisförmigen Platten b. Sowohl die Platten b wie die Platten f haben gleich weiten Abstand voneinander; die Plattenebenen verlaufen in allen Stellungen parallel. Der bewegliche Plattensatz ist an einer Achse a befestigt, die oben einen Handgriff g und einen über einer Skala t, die sowohl in Grade eingeteilt ist, wie auch für die betreffenden Selbstinduktionsringe direkt in Wellenlängen geeicht wird, gleitenden Zeiger z besitzt. Der bewegliche Plattensatz b kann zwischen den festen Satz f hineingedreht werden. Wenn die Platten b vollständig zwischen die Platten f gedreht sind, ist der maximale Kapazitätswert erreicht, das Entgegengesetzte gilt für die Stellung der maximalen Herausdrehung der beweglichen Platten. Die Kapazität steigt oder fällt proportional dem Drehungswinkel.

Die Dimensionen der Platten und Abstände sind so gewählt, daß bei einer Stellung von 160° die Kapazität viermal größer ist, als bei einer Einstellung von 40°, so daß schon allein durch Veränderung der Kapazität ein Meßbereich von 1—2 beherrscht wird.

Zur Erhöhung der Kapazität und Durchschlagsfestigkeit — eine Einrichtung, die namentlich dann von Wichtigkeit ist, wenn der Wellenmesser als Erreger benutzt wird (was durch Entfernen des Resonanzindikators und Aufsetzen einer Funkenstrecke geschehen kann) — wird das die Kondensatorplatten enthaltende Glasgefäß (s. Fig. 61, 62, 63) mit einem flüssigen Isolator, wie z. B. Paraffinöl, gefüllt. Man kann, um verschiedene Kapazitätsbeträge zu erzielen, selbstverständlich das Kondensatorgefäß beliebig hoch mit Flüssigkeit füllen; ein solches

Digitized by Google

Vorgehen ist aber nur für den Wellenmesser als Frequenzanzeiger zulässig, da, sobald der Wellenmesser als Erreger mit Funkenstrecke ausgebildet ist, ein Luftkondensator bei den verhältnismäßig geringen Plattenabständen nicht in Betracht kommen kann.

Die Selbstinduktion wird durch fünf verschieden groß bemessene, auswechselbare Spulen gebildet, die mittels in Hartgummi eingefaßter Stöpsel in die Kontakte *k* eingeführt werden und so das Meßschwingungssystem schließen. Zusammen mit dem Kondensator besitzen die Ringe bei Variation der Kapazität von etwa 20—170° (also innerhalb des absolut sicheren linearen Verlaufes der Kapazitätsbeträge) folgende Meßbereiche:

Ring	Wellenlängen von
1	100 m bis 200 m
2	200 m bis 570 m
3	400 m bis 1100 m
4	800 m bis 2120 m
5	1180 m bis 3190 m.

Fig. 57 stellt einen Einsatzring dar, der dazu benutzt wird, den Wellenmesser mit einem geradlinig ausgespannten Leiter, wie z. B. mit einer Antenne, zu koppeln. Zu jedem Selbstinduktionsringe gehört ein je nach der Größe des Selbstinduktionsringes bemessener Einsatzring, der aus einer Windung isolierten Drahtes gebildet und auf den betreffenden Selbstinduktionsring aufgesteckt wird.

Die Übertragung der Schwingungsenergie auf den Resonanzindikator erfolgt, wie bereits bemerkt, induktiv, wozu der kleine Transformator $i i_1$ dient. i wird gebildet aus einem massiven Kupferringe, i_1 ist aus Litzendraht (Azetatdraht) hergestellt und auf einen zylindrischen Kern gewickelt, der in seiner Achsenrichtung verschoben werden kann. Hierdurch wird die Kopplung des Thermometers mit dem Resonanzkreis verändert und entsprechend die Stromstärke im Thermometerhitzdraht variiert. Die Einstellung der Spule i_1 kann auf einer an der Verschiebungsvorrichtung angebrachten Skala abgelesen werden. Für geringe Energiemengen im Kondensatorkreis ist die Kopplung selbstverständlich entsprechend fest zu nehmen. Die induktive Erregung des Thermometers ist aus dem Grunde gewählt, weil die elektrischen Konstanten des Meßschwingungskreises je nach der verwandten Selbstinduktionsspule und je nach der Kondensatorstellung verschieden dimensioniert sind. Für extreme Fälle würde bei gleicher, vom Wellenmesser aufgenommener Energie im Falle großer Kapazität der Strom im Thermometer viel stärker sein als bei kleiner Kapazität. Durch

Digitized by Google

den Transformator $i i_1$ können derartige Intensitätsunterschiede annähernd eliminiert werden.

Als Resonanzindikator wird im allgemeinen ein Hitzdrahtluftthermometer verwendet. Es können selbstverständlich auch andere genügend empfindliche Strom- oder Spannungsmesser, wie auch Hitzdrahtwattzeiger, Neon- oder Heliumröhren usw. Anwendung finden.

Ein Hitzdrahtthermometer in technischer Ausführung zeigt Fig. 58. Das den Hitzdraht B, der mittels fester Drähte E mit der Sekundärwicklung i_1 verbunden ist, enthaltende Glasgefäß A ist oben mit einem Gummistopfen C, in den ein Glashahn D eingeführt ist, verschlossen und setzt sich in einer Kapillaren fort. Der Hitzdraht besteht zweckmäßig aus Konstantandraht von 0,025 mm ϕ und etwa 10 cm Länge. Im unteren Teile ist das Glasgefäß umgebogen. Oben links in der Figur ist es zum Füllen des Rohres mit Flüssigkeit mit einer trichterförmigen Öffnung G versehen. Auf dieser Seite ist das Kapillarrohr F erweitert. Dieses ist durch zwei Hähne H vollständig abschließbar, so daß die in F enthaltene Steigflüssigkeit bei Abschluß der Hähne und Neigen des Thermometers nicht auslaufen kann. Die Röhre wird gefüllt, indem bei Öffnen der Hähne D und H die Flüssigkeit (mit einem Farbstoff wie Methylblau oder Eosin versetzter Alkohol) in den Trichter G gegossen wird, bis sie in dem Thermometerrohr etwa so hoch steht, wie gezeichnet. Zu viel Flüssigkeit macht die Vorrichtung träge und unempfindlich, zu wenig Flüssigkeit ergibt andere Reibungs-

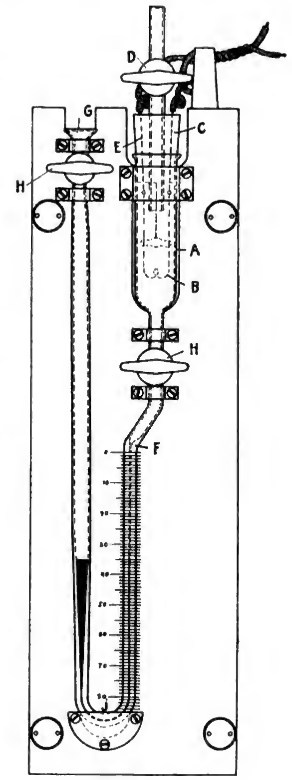


Fig. 58.

Digitized by Google

verhältnisse, wenn die Erwärmung der Luftmenge in A so groß ist, daß der rechte Meniskus der Flüssigkeit über J nach links hinausgeht. Die Höhe des rechten Meniskus wird an einer Skala abgelesen. Etwa vorhandene Luftblasen in der Flüssigkeit werden durch einen dünnen Draht entfernt, der bei geöffneten Hähnen H bei G eingeführt wird. Beim Gebrauch werden die Hähne H geöffnet. D ist zu schließen, wobei der Gummistopfen C dicht halten muß. Zum Transport müssen die Hähne H geschlossen, D kann geöffnet werden.



Fig. 59.

Für qualitative Untersuchungen ist das Thermometer geeignet, obwohl man auch für derartige Versuche besser einen Hitzdrahtwattzeiger, d.h. ein Hitzdrahtinstrument, das in quadratischen Stromwerten geeicht ist, verwendet. Ein solches besonders empfindliches Hitzdrahtinstrument wurde nach einem Vorschlage von Hahnemann für den Wellenmesser konstruiert. Für Messungen, insbesondere für solche, die Vergleiche an verschiedenen Stationen und unter verschiedenen elektrischen Verhältnissen ergeben sollen, insbesondere aber für Dämpfungsmessungen usw., ist man auf den Gebrauch des Wattzeigers angewiesen.

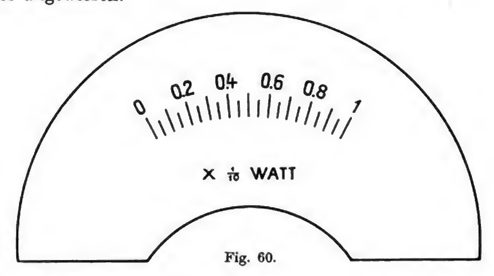


Fig. 60.

Fig. 59 zeigt die Ausführungsform eines solchen Hitzdrahtamperemeters (Wattzeigers) von Hartmann & Braun, A,-G., dessen Angaben bei sehr feinem Hitzdraht proportional sind

$$\int_0^\infty i^2\, dt.$$

Digitized by Google

Daher ist es auch zulässig, die Skala eines solchen Instruments direkt in Wattwerten zu eichen (s. Fig. 60).

Die praktischen Ausführungsformen der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie sollen künftig so gehalten werden, daß neben dem Thermometer ein Hitzdrahtwattzeiger vorgesehen ist und entweder das eine oder das andere mittels biegsamer Litze angestöpselt werden kann.

Die Fig. 61, 62 und 63 zeigen photographische Ansichten des Wellenmessers. In Fig. 61 ist der Ring 2 eingestöpselt. Die Ringe 3

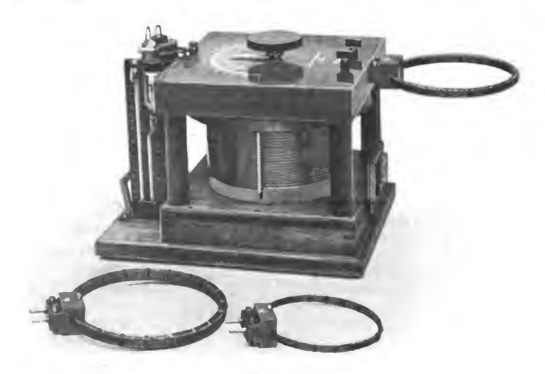


Fig. 61.

und 1 liegen vor dem Wellenmesser. Fig. 62 zeigt eine seitliche Ansicht. Der Thermometertransformator ist links in der Abbildung gut zu erkennen. Alle drei Ringe sind hier mit Einsatzringen versehen, die auf die Selbstinduktionsringe aufgestöpselt sind. Bei Fig. 63 liegen alle drei Ringe vorn; der Wellenmeßkreis ist offen.

Die Außenmaße des Wellenmessers (bei abgenommenem Ring *s*) sind 360 cm $\times$ 280 cm $\times$ 280 cm.

3. Theoretische Grundlagen.

Maßgebend für die Theorie des Franke-Dönitzschen Wellenmessers sind die Thomson-Kirchhoffschen Formeln.

Bei einem quasistationären Stromkreis, der lokalisierte Kapazität und Selbstinduktion besitzt, ist eine Eigenperiode vorhanden,

Digitized by Google

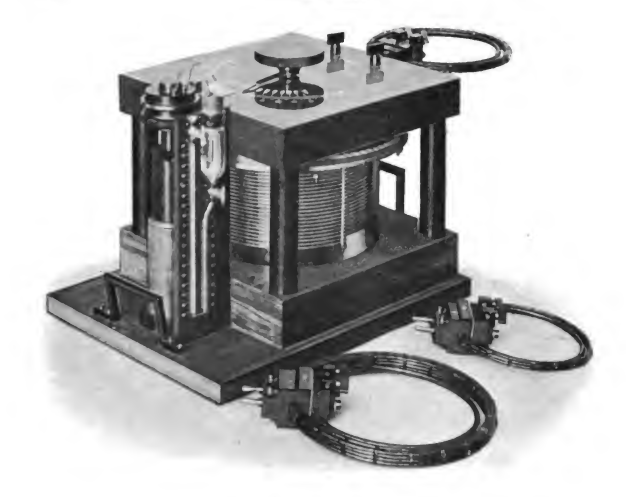


Fig. 62.

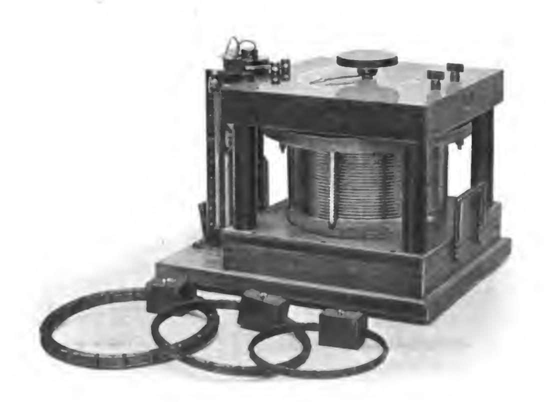


Fig. 63.

Digitized by Google

welche sich unter Vernachlässigung von praktisch nicht ins Gewicht fallenden Zusatzgliedern ergibt zu

$$T = 2\pi\sqrt{CL}$$

Da nun die Wellenlänge allgemein $\lambda = v \cdot T$ ist, so erhält man die Wellenlänge eines Schwingungssystems zu

$$\lambda = 2\pi v\sqrt{CL}$$

Im Ausdruck für die Wellenlängen ist also die Ausbreitungsgeschwindigkeit v der elektrischen Störung im Schwingungssystem vorhanden. Für den Fall, daß diese gleich der Lichtgeschwindigkeit ist, und wenn alle Größen in Zentimeter eingesetzt werden, erhält man

$$\lambda = 2\pi\sqrt{C^{cm} L^{cm}}$$

In diesem Falle ist also die Wellenlänge mit der Frequenz identisch, und auch nur dann ist folglich die Benennung „Wellenmesser" an Stelle von „Frequenzmesser" berechtigt.

Die Frequenz eines Systems hängt demnach im wesentlichen von der Kapazität C und der Selbstinduktion L ab. Mit der Veränderung der einen dieser Größen wird gleichzeitig die Frequenz und somit die Wellenlänge geändert. Andererseits kann man eine gegebene Schwingung dadurch analysieren, daß man sie auf ein variables System einwirken läßt und beobachtet, wann die Resonanzlage erreicht ist.

Die zur Anwendung gelangenden Selbstinduktionsspulen wurden nach folgender Formel nach Stefan[3] berechnet:

$$L = 4\pi a n^2 \left[\left(1 + \frac{3b^2 + c^2}{96a^2}\right) ln \frac{8a}{\sqrt{b^2 + c^2}} - y_1 + \right.$$

$$\left. + \frac{b^2}{16a^2} y_2\right] + 4a\pi n\left(ln \frac{\triangle}{\delta} + 0{,}15494\right)$$

Hierin ist a = mittlerer Spulenradius,

n = Anzahl der Drahtwindungen,

b = Breite } des Rechtecks, den der Querschnitt einnimmt.
c = Höhe }

$\triangle$ = Durchmesser des umsponnenen Drahtes,

δ = Durchmesser des blanken Drahtes,

y_1 und y_2 hängen ab von x, wo $x = \frac{c}{b}$ ist.

Die Selbstinduktionen der Zuleitungen können rechnerisch bestimmt werden; diese Werte fallen jedoch in der Größenordnung vollkommen gegen die der Spulen heraus.

Digitized by Google

Die Größe der Kapazität bei verschiedenen Stellungen der Drehplatten kann z. B. nach der Brücken- oder Stimmgabelmethode schnell bestimmt werden.

Die Dämpfung des Franke-Dönitzschen Wellenmessers neuester Ausführung mit entsprechend regulierbarer Wattzeigerkopplung beträgt 0,04. Sie ist nicht konstant, durchschnittliche Abweichungen von etwa 20% nach oben und nach unten sind möglich.

4. Verwendungsarten.

Die Untersuchungen mit dem Wellenmesser erfolgen im wesentlichen in folgender Weise:

Der Wellenmesser wird in der Nähe des zu untersuchenden Systems aufgestellt, und bei Erregung des zu messenden Systems wird die Kapazität des Wellenmessers durch Drehen am Handgriff so lange verändert, bis das Maximum des Thermometerausschlages erreicht ist, d. h. bis der Wellenmesser mit dem zu messenden System in Resonanz ist. Je nach der Schwingungszahl des zu messenden Systems sind entsprechende Selbstinduktionsringe zu verwenden. Auf diese Weise wird die Frequenz und somit die Wellenlänge eines einzelnen Systems gemessen und die Schärfe der auftretenden Schwingungen bestimmt.

Es können ebenso auch bei gekoppelten Systemen die zwei auftretenden Partialwellen, die große und die kleine Welle, festgestellt werden. Schließlich können in vielen Fällen Oberschwingungen mit dem Wellenmesser nachgewiesen werden und Schlüsse auf die Dämpfung des Senders, bzw. Erregers gezogen werden. Bei Anwendung eines Hitzdrahtwattzeigers als Resonanzindikator und entsprechender Kopplung des Wattzeigers sind schließlich, wie unten gezeigt wird, genaue Dämpfungsmessungen möglich.

Wesentlich für die Anwendung des Wellenmessers ist es, daß er in den richtigen Abstand von dem zu messenden System gebracht wird. Bei zu geringer Entfernung übt das im Wellenmesser erzeugte Feld eine Rückwirkung auf das zu messende System aus. Bei zu großer Entfernung ist die im Wellenmesser aufgenommene Energie zu gering, die Unterschiede im Thermometer zwischen Resonanz und Nichtabstimmung sind zu klein, und die aufgenommene Resonanzkurve verläuft zu flach.

Was nun den ersten Fall der zu geringen Entfernung angeht, so ist hierzu folgendes zu bemerken:

Wenn ein zu großer Teil der vom Sender erzeugten Kraftlinien vom Wellenmesser aufgenommen wird (d. h. bei zu fester Kopplung), schwingt das Meßsystem so intensiv mit, daß mindestens

Digitized by Google

zwei Wellen entsprechend den beiden vorhandenen Kapazitäten und Schwingungssystemen ausgebildet werden. In welcher Weise die Erscheinungen im Wellenmesserthermometer zum Ausdruck kommen, ist in Fig. 64 aus den Kurven A und A_1 zu ersehen. Bei A beträgt der Abstand zwischen Sender und Empfänger 10 mm, bei A_1 20 mm.

Sobald zu wenig Kraftlinien des Senders in den Empfangswellenmesser gelangen, verlaufen die Resonanzkurven sehr flach. Zwischen der zu festen und der zu losen Kopplung liegt sinngemäß das Optimum, da die Ausbildung der Resonanzerscheinung kontinuierlich vor sich geht. Als günstigste Entfernung ergab sich eine solche von 30 mm (stark ausgezogene Kurve). Die Amplitude ist bei dieser Kurve nahezu doppelt so groß, wie bei ganz fester Kopplung. Aus Fig. 64 ist auch zu ersehen, daß bei zu fester Kopplung ein direkter Fehler in die Ablesung hineinkommt, indem z. B. bei 10 mm Abstand die dazu gehörende Kapazität um rund 23°/₀ zu groß ist.

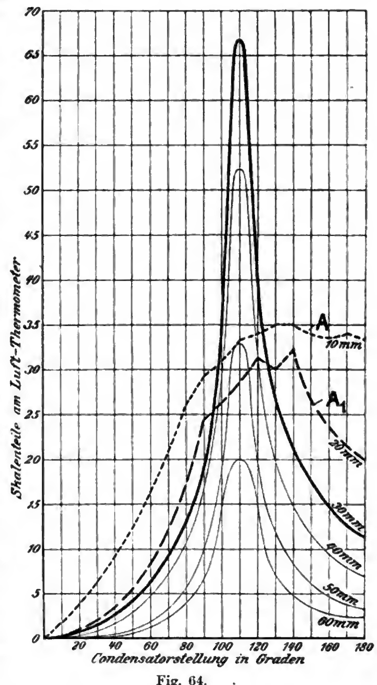


Fig. 64.

Die Kopplung des Wellenmessers mit dem zu untersuchenden System ist nun in verschiedener Weise möglich, und zwar:

1. Elektromagnetische Kopplung (bei der Aufnahme der Kurven in Fig. 64 zugrunde gelegt). Sowohl das erregende wie das messende System besitzen eine ausgeprägte Selbstinduktion. Die Felder beider wirken in geeigneter Entfernung aufeinander

Digitized by Google

ein, so daß die magnetische und elektrische Feldintensität zur Wirkung gelangen.

2. Elektrostatische Kopplung (Fig. 65). Das Meßsystem ist mit dem zu messenden System durch die Kapazitäten C_1 und C_2

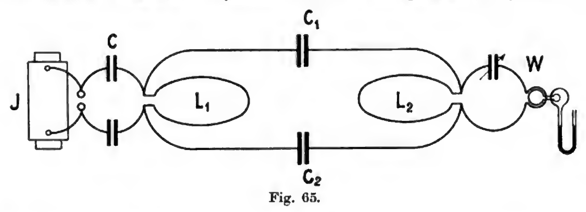


Fig. 65.

gekoppelt. Je nachdem man diese vergrößert oder verkleinert, wird die Kopplung fester oder loser.

3. Galvanische Kopplung (Fig. 66). Die Verbindung zwischen Erreger und Wellenmesser ist mittels der Selbstinduktionsspulen S_1

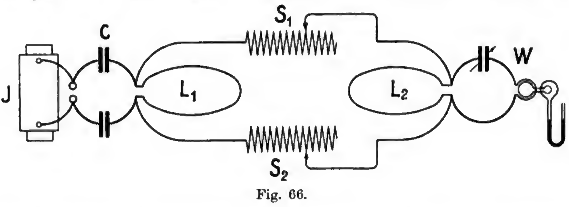


Fig. 66.

und S_2 bewirkt. Werden diese klein bemessen, wird die Kopplung fest. Bei großen Spulen S_1 und S_2 kann eine ziemlich lose Kopplung hergestellt werden.

Von den drei angeführten Kopplungsarten verdient die unter 1 genannte entschieden den Vorzug, da sie die am schärfsten ausgeprägten Resonanzkurven liefert. Bei ihr bewirkt schon eine geringe Verstellung des Wellenmesserkondensators beträchtliche Unterschiede an der Skala des Thermometers.

Um die Schärfe der Resonanzkurve von Wellen verschiedener Länge miteinander vergleichen zu können, muß der Wellenmesser bei beiden Messungen auf die günstigste Weise lose mit dem zu untersuchenden System gekoppelt und der Ausschlag im Hitzdrahtinstrument durch Veränderung der Thermometerkopplung $i\,i_1$ (s. Fig. 54 und 62) reguliert werden.

Digitized by Google

Messungen an einem funkentelegraphischen Sender.

Fig. 67 zeigt die Messung der Frequenz des geschlossenen Schwingungskreises *FCLCF*, wobei letzterer auf eine Wellenlänge von 405 m abgeglichen war. Die dazu gehörend aufgenommene Resonanzkurve ist unter *I* in Fig. 70 eingezeichnet.

Es wurde hierauf ein Luftleiter, welcher ungefähr 405 m Wellenlänge besaß, nach Fig. 68 in direkter Marconischaltung erregt. Die dabei erhaltene Resonanzkurve ist in Fig. 70 unter *II* wiedergegeben. Die Wellenmessung erfolgt hierbei in der Weise, daß der in zwei Teile geteilte Luftdraht mit dem Ende des auf die Wellenmesserselbstinduktion aufgesetzten Einsatzringes verbunden wurde, wodurch die Luftdrahtselbstinduktion durch den Einsatzring praktisch nur unwesentlich vermehrt wird.

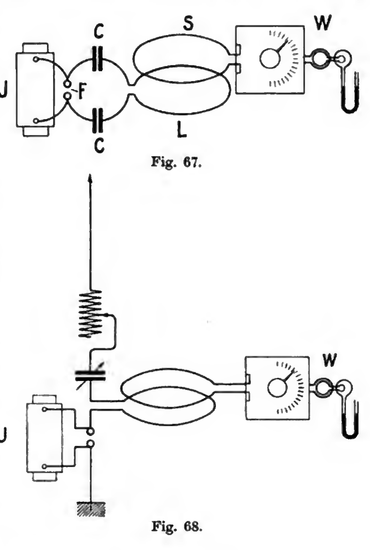


Fig. 67.

Fig. 68.

Fig. 69 zeigt die Wellenmessung beim gekoppelten Sender. Der Luftdraht ist wie oben mit dem Wellenmesser verbunden; es treten hierbei, wie aus Fig. 70 unter *III* zu ersehen ist, zwei Schwingungen auf mit den Wellenlängen $\lambda = 355$ m und $\lambda = 435$ m, von denen die tiefere Schwingung die größere Amplitude besitzt.

Auf diese Weise können die Frequenzen, Wellenlängen, Selbstinduktionen (wenn man die Kapazität kennt), und die Kapazitäten (wenn man die Selbstinduktionswerte kennt), die Kopplungsgrade, Dämpfungsverhältnisse usw. von beliebigen Schwingungssystemen bestimmt werden.

Digitized by Google

5. Kritik.

a. Vorteile.

Es ist insbesondere bei Anwendung des Koepselschen Drehplattenkondensators konstruktiv einfacher, die Kapazität variabel zu gestalten, als die Selbstinduktion. Außerdem erzielt man durch die Kapazitätsänderungen, wenigstens bei der vorliegenden Ausführungsform, eine

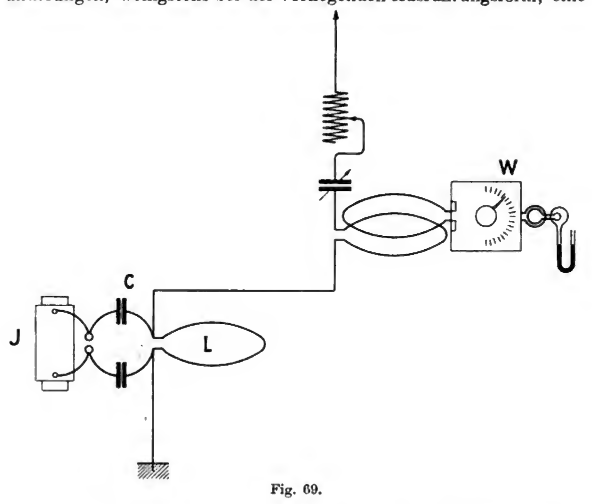


Fig. 69.

proportionale Skala und damit auch, wenn der Wellenmesser in Frequenzen, bzw. in Wellenlängen geeicht ist, eine proportionale Frequenzteilung (quadratische Teilung, da $T = 2\pi\sqrt{CL}$ ist).

In dem Franke-Dönitzschen Wellenmesser ist eine verhältnismäßig einfache Vorrichtung geschaffen, die handlich, annähernd konstant und gut transportabel ist. Man kann mit derselben die volle Resonanzkurve in allen ihren Punkten aufnehmen und mithin quantitative Energiemessungen ausführen.

Die Vorrichtung besitzt ferner geringe (aber variable) Dämpfung; daher ist es möglich, sehr lose zu koppeln und scharf abzustimmen. Sobald an Stelle des Hitzdrahtthermometers ein empfindlicherer, weniger dämpfender Indikator, wie beispielsweise ein Hitzdraht-

Digitized by Google

wattzeiger mit passender Kopplung ii_1 gesetzt wird, sind noch kleinere Gesamtdämpfungen zu erzielen.

Als wesentliche Vorteile des Franke-Dönitzschen Wellenmessers sind neben den obengenannten und dem der konstanten Kopplung (für jeden Selbstinduktionsring) noch die anzuführen, daß mit dem Wellenmesser Selbstinduktionen, Kapazitäten, Kopplungen, Dämpfungen usw. festgestellt und bestimmt werden können; besonders brauchbar ist der Wellenmesser für die in der Praxis angewendeten großen Wellenlängen.

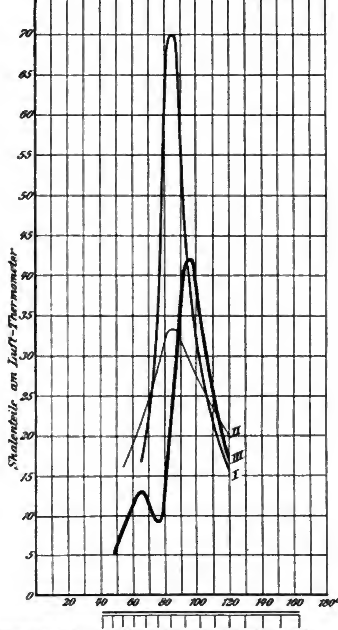


Fig. 70.

b. Nachteile.

Die Beziehung zwischen Kapazität und Selbstinduktion ist für jede Zeigerstellung und für jeden Ring eine andere; somit ist die Kopplung des Wellenmessers mit dem ihn erregenden System nicht ganz konstant. Dasselbe gilt für das Anzeigeinstrument, welches infolgedessen verschieden stark dämpft.

Die Dämpfung des Wellenmessers ist variabel und zwar ist sie bei kleinen Wellenlängen erheblicher als bei großen Wellenlängen, infolge der gleich stark dimensionierten Spulendurchmesser.

Für sehr kleine Wellenlängen,[4] bei denen es auf große Meßgenauigkeit ankommt, ist der Wellenmesser weniger geeignet, da einmal eine verhältnismäßig große Anfangswellenlänge vorhanden ist und sich andererseits die Selbstinduktionen der Zuleitungen,

Digitized by Google

Spulen usw. der genauen Rechnung entziehen. Für sehr kleine Beträge müßte jedenfalls der Wellenmesser mittels des Lechersystems geeicht werden. Für große Wellenlängen, für welche eine Nacheichung von Zeit zu Zeit auch zweckmäßig ist, wird vorteilhaft das Gehrckesche Drahtsystem angewendet. Der Eichung für kleine Wellenlängen (wobei kleine Fehler mehr ins Gewicht fallen als bei großen Wellenlängen) steht aber entgegen, daß der Wellenmesser nicht absolut unveränderlich ist, insbesondere wegen der Verwendung des Flüssigkeitsisolators, und weil sich die Platten, bzw. inneren Schrauben und Muttern namentlich nach größeren Transporten nach einiger Zeit lockern, so daß es nicht ausgeschlossen ist, daß namentlich bei unsachgemäßer Behandlung zwischen den Platten Kurzschlüsse eintreten. Von Nachteil ist auch der mit Paraffinöl gefüllte Kondensator deshalb, weil an den Stellen, an denen die Zuführungen angeordnet sind, und auch an der Drehstelle die Dichtung nur schwer aufrechtzuerhalten ist.

Prinzipiell ungünstig ist aus Folgen der Kostspieligkeit der Kondensator, der in seinen Abmessungen zu groß ist. Dieser Nachteil ist beim kommerziellen Wellenmesser der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, bei dem große Wellenlängen durch entsprechend groß bemessene Spulen erzielt werden, deren Eigenkapazität berücksichtigt werden muß, in befriedigender Weise vermieden.

6. Literatur.

[1] Dönitz: E.T.Z. 24. p. 920. 1024. 1903, (Der Wellenmesser und seine Anwendung.) — [2] Koepsel: Dinglers Polytechnisches Journal 319. Heft 14. 1904. (Bestimmung von Kapazität und Selbstinduktion vermittels sehr schneller elektrischer Schwingungen.) — [3] Stefan: Wied. Ann. 22. p. 197. 1884. (Selbstinduktion von Spulen.) — [4] Drude: E.T.Z. 25. p. 19. 1904. (Der Wellenmesser und seine Anwendung.) — Dönitz: E.T.Z. 25. p. 119. 1904. (Der Wellenmesser und seine Anwendung.)

7. Patente.

D. R.-P. Nr. 149350: „Apparat zur Bestimmung der Wellenlänge und Beobachtung der Schwingungsvorgänge in einem elektrischen Schwingungssytem." Angemeldet 3./4. 03. Erteilt 4./1. 04.

Amerikanisches Pat. Nr. 763164: „Apparat zur Bestimmung der Wellenlänge und Beobachtung der Schwingungsvorgänge in einem elektrischen Schwingungssystem." Angemeldet 15./9. 03. Erteilt 21./6. 04.

Französisches Patent Nr. 335214: „Apparat zur Bestimmung der Wellenlänge und Beobachtung der Schwingungsvorgänge in einem elektrischen Schwingungssystem." Angemeldet 26./8. 03. Erteilt 18./11. 03.

Digitized by Google

Britisches Patent Nr. 18181/03: „Apparat zur Bestimmung der Wellenlänge und Beobachtung der Schwingungsvorgänge in einem elektrischen Schwingungssystem.“ Angemeldet 22./8. 03. Erteilt 11./2. 04.

Russischer Schutzschein Nr. 26427: „Apparat zur Bestimmung der Wellenlänge und Beobachtung der Schwingungsvorgänge in einem elektrischen Schwingungssystem.“ Angemeldet 23./3. 05. Erteilt 5./4. 05.

Inhaberin der Patente ist die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H., System Telefunken.

---

8. Der Multiplikationsstab von Slaby.

1. Allgemeines. Konstruktion.

Der Multiplikationsstab ist aus der oben beschriebenen Resonatorspule von Arco-Slaby× hervorgegangen. Er besitzt dieser gegenüber die Vorteile, Wellen beliebiger Länge messen zu können, leicht transportabel zu sein und eine höhere Meßgenauigkeit aufzuweisen.

Die am Multiplikationsstab auftretenden Erscheinungen lernte Slaby im September 1900 kennen, als er beim Studium der Schwingungsvorgänge im Empfänger den Empfangsdraht teilweise spulenförmig aufwickelte. Slaby[1] fand damals eine Multiplikation der elektrischen Feldintensität am Spulenende gegenüber dem einfachen Drahte. Das so gefundene Phänomen wurde zunächst nicht zu Abstimmzwecken, sondern von Graf Arco direkt zur Wellenmessung benutzt.

Das Bestreben, die oben genannten Übelstände der Resonatorspule, insbesondere die Unempfindlichkeit zu verringern, hat dann Slaby zu der neuen Konstruktionsform geführt.

Maßgebend für die Neukonstruktion war die Forderung, daß zur Sichtbarmachung der Abstimmung des Multiplikationsstabes auf den zu messenden Kreis die Ausstrahlung an der Spitze der Multiplikationsspule möglichst gesteigert werden mußte. Hierzu war es notwendig, eine starke Oberflächenspannung zu erzielen, die wiederum von der elektrostatischen Kapazität der Spule, die ein Minimum sein muß, und der magnetischen Kapazität oder Selbstinduktion, die ein Maximum sein muß, abhängt. Beides erreicht man durch

× Eine dem Multiplikationsstabe ähnliche Anordnung ist vor kurzem durch das amerikanische Patent Nr. 848675. Ang. 26. 1. 1901 von J. Murgas bekannt geworden. Murgas koppelt eine in Wellenlängen geeichte Spule mit dem zu messenden Schwingungssystem elektrostatisch und macht das Resonanzmaximum mittels eines regulierbaren Telephonempfängers kenntlich. Diese Anordnung dürfte im wesentlichen dieselben Nachteile wie der Multiplikationsstab besitzen.

Digitized by Google

Spulen, die aus feinem Draht mit geringer Ganghöhe gewickelt sind. Die Fernwirkung einer solchen Spule ist ein Minimum, da ihre Dämpfung durch Hertzsche Strahlung sehr gering ist, hingegen ist die Spitzenstrahlung beträchtlich.

Bei der alten Konstruktion der Resonatorspule war diese direkt an den Geberkreis angeschlossen. Das hat aber den Übelstand zur Folge, daß eine Verzehrung der aufgenommenen Energie im System stattfindet, wobei die Verzehrung und die Verlegung des Knotenpunktes, in welchem die Spule angeschlossen ist, wesentlich abhängt von der Verbindung der Spule mit der Kapazität des Erregersystems. Außerdem wird bei direktem Anschluß die Schwingungskapazität der Spule stark beeinflußt durch die Lage der Spule zum Erregerkreise. Das Bestreben Slabys ging infolgedessen dahin, eine Spulenkonstruktion zu schaffen, deren Rückwirkung auf das zu messende System keine merkliche war. Die induktive Erregung der Multiplikationsspule war daher die einzig mögliche.

Durch Versuche wurde nun festgestellt, daß nicht dann die stärkste Spitzenstrahlung der Spulen stattfand, wenn die Induktion der Spulen magnetisch war, sondern es zeigte sich, daß stärkere und gleichmäßigere Strahlungen erhalten wurden bei Kopplung des Multiplikationsstabes mit dem Erregersystem im Spannungsbauch. Zweckmäßig wird hierbei, wenn man die Wellenlänge eines geschlossenen Schwingungssystems messen will, die Meßspule dem Teil des Schwingungssystems genähert, welcher zwischen Kondensator und Spule liegt (Fig. 78).

Die wesentlichen Gesichtspunkte für die Neukonstruktion des Multiplikationsstabes waren daher die Verwendung möglichst dünnen isolierten Drahtes, um die Ganghöhe zu reduzieren, und die Anwendung eines Resonanzindikators an der Spitze der Spule, welcher möglichst wenig dämpft, genügend empfindlich ist und innerhalb einer gewissen Zeit seine Beschaffenheit nicht verändert. Nach längeren Versuchen wurde als geeignetste Resonanzvorrichtung die Kombination des einen Spulendrahtendes mit Baryumplatincyanürpapier, in welches Blattgold hineingerieben war und das unter die Drahtspitze geklemmt wurde, gefunden.

Eine Ausführungsform des Stabes ist in Fig. 71 dargestellt. *a* bezeichnet ein langes Glasrohr, das unten mit einem metallischen Handgriff *b* fest verbunden ist. An letzteren angeschlossen und auf das Glasrohr aufgewickelt ist der den Multiplikationsstab bildende isolierte Kupferdraht *k*. Hierzu kann z. B. seidenumsponnener Kupferdraht von 0,1 mm Kerndurchmesser genommen werden, so daß sich eine

Digitized by Google

Ganghöhe von reichlich 0,2 mm ergibt, oder noch besser ist es, wenn mit Zelluloseazetat isolierter Draht angewendet wird, dessen Isolationshaut verschwindend dünn ist. *f* stellt einen metallischen Leiter, *g* einen biegsamen Litzendraht und *h* eine hiermit verbundene Metallplatte dar, deren Zweck bei der Anwendung des Multiplikationsstabes weiter unten beschrieben ist. Auf dem Stabe direkt sind Striche und Zahlen aufgetragen, welche die Eichwerte der betreffenden Wellenlängen darstellen. Der abgebildete Stab würde etwa für Wellenlängen von 10—60 m zu benutzen sein.

Die obere Gestaltung des Multiplikationsstabes ist aus den Fig. 72 und 73 zu ersehen. Nachdem der Draht *k* auf das Rohr *a* bis zur Spitze hin aufgewickelt ist, wird er durch ein in das Glasrohr gebohrtes Loch durch *a* hindurchgeführt und endigt auf einem innerhalb von *a* befestigten Baryumplatincyanürgold - Schirm *c*. Letzterer ist durch den Stöpsel *d* fest in *a* angeordnet.

Fig. 73 zeigt eine andere Ausführung der Indikationsvorrichtung. Es ist hierbei das untere Ende des Drahtes *k* durch den Stab *a* innen hindurchgeführt, derart, daß es mit dem oberen Ende von *k* auf dem Baryumschirm *c* eine Art Funkenstrecke bildet. Die Entladungen sollen hierbei besonders deutlich ausgebildet sein. Für Multiplikationsstäbe von 80 cm Länge ergaben sich für verschiedene Durchmesser folgende Wellenlängen:

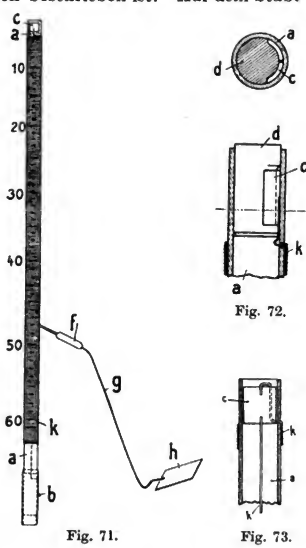


Fig. 71. Fig. 72. Fig. 73.

Stab	Durchmesser in mm	Meßbereich in m
A	10	25— 50
B	20	50—100
C	40	100—200

Digitized by Google

Selbstverständlich gelingt es ohne weiteres, Stäbe für größere und kleinere Wellenlängen herzustellen. So bringt die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H., die den Slabyschen Multiplikationsstab herstellt, Stäbe bis 1000 m normal auf den Markt. Andererseits liefert die genannte Gesellschaft kleine Multiplikationsstäbe, um z. B. bei Demonstrationsapparaten Wellenlängen von ungefähr 10 m bis zu 40 m zu messen.

Abb. 74 stellt einen Behälter dar mit drei Multiplikationsstäben in der Ausführungsform der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie.



Fig. 74.

Links in der Figur ist der Teller h mit Spitze g und dem biegsamen Leiter f zu sehen. Rechts ist der Baryumschirm c zu erkennen. Das wiedergegebene Aggregat ist für Wellenlängen von 120—1000 m eingerichtet.

2. Theoretische Grundlagen.

Ein beliebiges Drahtgebilde, das geerdet ist, wird dann in maximale Schwingungen versetzt, wenn die aufgedrückte Schwingung der Eigenschwingung entspricht, d. h. bei einfacher Resonanz. Dieser Vorgang wird ausgedrückt durch die Thomson-Kirchhoffsche Formel $T = 2\pi\sqrt{CL}$. Von wesentlichem Einfluß ist demnach für alle schwingenden Gebilde der Wurzelausdruck, den Slaby „Schwingungskapazität“ nennt.

Für die Schwingungsenergie eines Systems ist die Aufnahmefähigkeit von Bedeutung. Es ist, wenn man von zeitlicher Dämpfung absieht und mit E den Mittelwert der Ladespannung bezeichnet, die Schwingungsenergie pro Sekunde $= \frac{2E^2C}{T} = \frac{E^2}{\pi}\sqrt{\frac{C}{L}}$. Die Eigenschwingungsenergie ist bei gegebener Ladespannung um so größer, je größer die statische Aufnahmefähigkeit und je kleiner die Selbstinduktion ist.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn es sich darum handelt, die Eigenschwingungsenergie klein zu halten und die Schwingungs-

Digitized by Google

kapazität so zu bemessen, daß eine starke Strahlung an der Spitze (Spannungsbauch) des Systems stattfindet. Zu diesem Zwecke muß die statische Aufnahmefähigkeit ein Minimum betragen, um eine große Oberflächenspannung zu bewirken. Dieses Ziel wird nur erreicht durch Spulen, bei denen Windung dicht an Windung liegt, bei denen das Vektorprodukt aus magnetischer und elektrischer Kraft ein Minimum ist.

Eine geerdete, auf irgend eine Weise erregte Spule mit einer Wicklungslage, deren der Erdungsstelle entgegengesetztes Ende frei in der Luft endigt, schwingt bei Voraussetzung harmonischer Strom- und Spannungsverteilung so, daß die maximale Ladungsspannung folgt aus

$$V_0 = \frac{a}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Hierin ist L die Selbstinduktion, C die Kapazität für harmonische Verteilung und a ein Faktor. Die Elektronenstrahlung hängt also von V_0 ab, welches um so größer wird, je kleiner die Kapazität ist.

Genaue Ausdrücke für die Berechnung von Spulenkapazitäten sind bisher nicht mitgeteilt worden. Ein angenäherter Ausdruck lautet:

$$C = p \cdot \frac{h}{2\,ln\frac{h}{r}},$$

wo h die Länge der Spule, r den Spulenradius und p einen Korrektionssfaktor bezeichnet.

Die Spulenselbstinduktion, welche nach obigem Ausdruck für V_0 möglichst groß sein muß, folgt aus der Formel:

$$\frac{L}{C} = 2\frac{p}{q} \cdot \pi \frac{(2r)^2}{g^2} \cdot ln\frac{h}{r}.$$

g ist die Ganghöhe, p und q sind Faktoren.

Der Ausdruck liefert als Ergebnis, daß die Ganghöhe und der Drahtdurchmesser ein Minimum sein müssen.

Aus den Formeln für Kapazität und Selbstinduktion kann man angenähert die Eigenschwingung der Spule berechnen:

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2}\sqrt{CL} = \gamma \frac{h \cdot d}{g\sqrt{ln\frac{2h}{d}}}.$$

γ ist ein Faktor, den Slaby durch Versuche festzustellen suchte. Er fand, daß er von einer gewissen Spulenlänge ab konstant bleibt und im Mittel etwa den Zahlenwert von 2,3 hat.

Digitized by Google

3. Eichung.

Formeln, nach denen eine genaue Vorausberechnung des Multiplikationsstabes möglich wäre, sind bisher nicht bekannt geworden. Allerdings sind von Drude [2] für Spulen gewisser Drahtstärken und von bestimmter Wicklungsart Ausdrücke und Tabellen mitgeteilt worden, deren experimentelle Richtigkeit teilweise vom Verfasser [3] bestätigt wurde; für die beim Multiplikationsstab in Betracht kommenden Drahtstärken können die Drudeschen Formeln indessen nicht angewendet werden. Man ist vielmehr dazu gezwungen, den Multiplikationsstab direkt zu eichen.

Methoden hierfür sind von Slaby [4], von Drude [5] und von Gehrcke [6] [×] angegeben worden. Während früher Slaby die Eichung mit einem einfachen, gerade ausgespannten Draht ausgeführt hat, der jedoch die Nachteile besitzt, sehr kapazitätsempfindlich durch in der Nähe befindliche Körper, abhängig von Induktionswirkungen benachbarter Leiter und veränderlich entsprechend der wechselnden Dielektrizitätskonstante des umgebenden Raumes zu sein, ist er neuerdings infolge der Versuche von Drude und Gehrcke ebenfalls dazu übergegangen, ein symmetrisches Eichsystem entsprechend dem Lechersystem anzuwenden. Das letztere hat bekanntlich die oben mitgeteilten Vorteile der geringen Kapazitätsempfindlichkeit und der geringen Beeinflussung durch in der Nähe befindliche Leiter.

Das von Slaby zur Eichung benutzte Lechersystem ist nicht kapazitiv (dielektrisch) erregt, wie bei den bisherigen Anordnungen, sondern

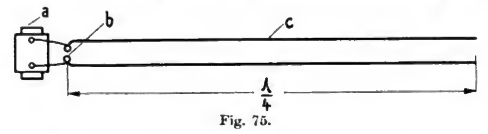


Fig. 75.

hat die in Fig. 75 dargestellte Form. Der Induktor a erregt mittels der Funkenstrecke b die Paralleldrähte c. Das System schwingt durchaus symmetrisch, wenn man mit $\frac{\lambda}{4}$ oder mit $\frac{\lambda}{2}$ arbeitet.

In Fig. 76 stellt S die Unabhängigkeit des Schleifendrahtes von der Entfernung der Drähte vom Erdboden dar, während P die Abhängigkeit der Wellenlänge eines 60 m langen einfachen Drahtes, der in der Mitte durch eine Funkenstrecke unterbrochen war, von

× Siehe „Das Paralleldrahtsystem", S. 31.

Digitized by Google

der Entfernung wiedergibt. Der Multiplikationsstab wird mit dem in Fig. 75 dargestellten Eichungssystem magnetisch oder elektrisch gekoppelt und bei der maximalen Leuchterscheinung die betreffende Wellenlänge des Eichsystems direkt auf den Stabwindungen vermerkt. Man kann auch den Multiplikationsstab mit Zentimeterteilung versehen und die zu jedem Zentimeter gehörende Wellenlänge im Eichsystem ermitteln und dann jedem Stab eine Eichkurve mitgeben. Die erstere Methode dürfte indessen zweckmäßiger sein, da gerade in der Handlichkeit und direkten Ablesbarkeit ein wesentlicher Vorteil des Multiplikationsstabes liegt.

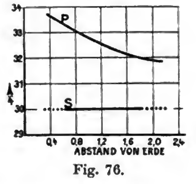


Fig. 76.

4. Schaltungen und Verwendungsarten.

Die Anwendung des Multiplikationsstabes gestaltet sich wie folgt:

Jedes Schwingungssystem besitzt magnetische und elektrische Feldintensität, bzw. magnetische und elektrische Kraftlinien. Sobald diese letzteren ein anderes System durchsetzen, welches z. B. aus einer in sich geschlossenen Spule bestehen kann, erzeugen sie darin eine *EMK*, die eine um so größere Amplitude besitzt, je besser das zweite System auf das erste abgestimmt ist. Der Multiplikationsstab besitzt einen gewissen Selbstinduktions- und Kapazitätswert. Im Falle er daher mit dem ihn erregenden System in Resonanz ist, schwingt er mit $\frac{1}{4}$ Wellenlänge oder einem Vielfachen, und zwar so, daß der Spannungsbauch am freien Ende des Multiplikationsstabes, der Knoten an der Erdungsstelle liegt. Mit Oberschwingungen zu arbeiten, ist nicht zweckmäßig, weil die auftretenden Intensitäten zu gering sind.

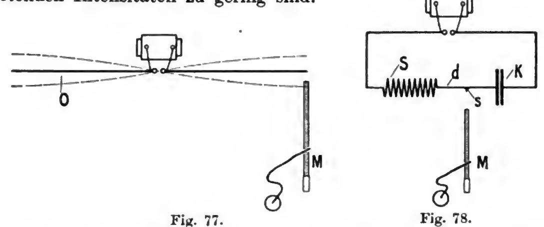


Fig. 77. Fig. 78.

Aus den oben erwähnten Gründen reagiert der Multiplikationsstab besser auf die elektrischen Kraftlinien, als auf die magneti-

Digitized by Google

schen Kraftlinien eines Senders. Für den einfachen Oszillator nach Fig. 77, bei dem der Spannungsbauch an den Enden liegt, hat man zweckmäßig den Stab von dort aus induktiv zu erregen. *O* bezeichnet den Sender, *M* den Multiplikationsstab.

Für ein geschlossenes Schwingungssystem, wie es Fig. 78 und Fig. 79 zeigen, hält man am besten den Multiplikationsstab zwischen Kondensator *K* und Spule *S* und befestigt auf dem Spule und Kondensator verbindenden Draht *d* eine kleine Strahlspitze *s*.

Fig. 79 zeigt die Bedienung des Stabes. Mit der linken Hand wird zweckmäßig die Metallhülse des Stabes gehalten,

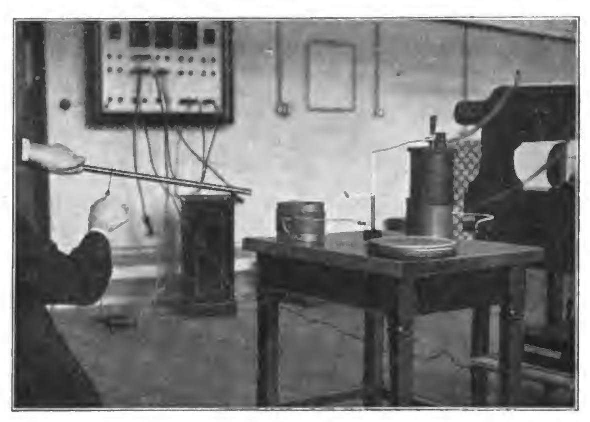


Fig. 79.

mit der rechten Hand auf den Windungen ein metallischer Leiter, der vorteilhaft geerdet oder mit einem kleinen Gegengewicht verbunden ist, bewegt. Diese Verbindung mit Erde oder Gegengewicht hat infolge ihrer Ausbildung sehr große Übelstände, indem ihr Widerstand und damit die Dämpfung ganz unbestimmt sind und je nach dem Boden, auf dem der Beobachter steht, variiert. Das rechte Stück, das dem Schwingungssystem entgegengehalten ist, ist wirksam und erzeugt bei Resonanz an der Spitze die büschelartige Elektronenstrahlung. Das linke Stück ist in sich kurzgeschlossen.

Fig. 80 zeigt die Wellenlängenmessung an einem direkt erregten

Digitized by Google

Sender. Hierbei werden die magnetischen Feldkraftlinien benutzt, da der Spannungsbauch unzugänglich ist.*

Zu beachten ist bei Benutzung des Strombauches zur Erregung, daß die Strahlspitze des Multiplikationsstabes von den in der Nähe befindlichen Leitern weit genug entfernt ist.

Im Falle die Lichtfackel am oberen Ende nicht deutlich hervortritt, was z. B. beim Arbeiten im Sonnenlicht der Fall sein kann, wird zweckmäßig auf den Multiplikationsstab oben ein Pappkonus p aufgesetzt, der auf die Wellenlänge des Stabes praktisch ohne Einfluß ist (Fig. 81).

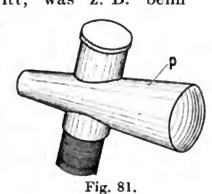


Fig. 81.

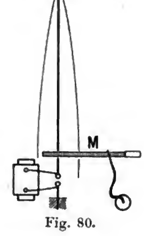


Fig. 80.

Wesentlich ist es, daß zwischen dem Schwingungssystem und dem Stabe der richtige Abstand innegehalten wird. Bei zu geringer Entfernung wird infolge der großen Intensität der Baryumplatincyanür-Schirm zerstört, und die Wellenlänge wird falsch infolge der Rückwirkung und Kapazitätsvermehrung des Stabes. Bei zu großer Entfernung reicht die Empfindlichkeit nicht mehr aus. Die Abhängigkeit der Wellenlänge vom Abstande ist für die oben erwähnten Stäbe A, B, C in den Fig. 82, 83, 84 dargestellt. a bezeichnet hierin den Abstand der Multiplikationsstabspitze vom zu messendem System. Aus den Kurven geht hervor, daß

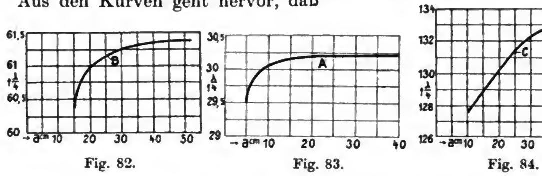


Fig. 82. Fig. 83. Fig. 84.

für Stäbe	A	mindestens	20 cm	Abstand
„ „	B	„	35 cm	„
„ „	C	„	40 cm	„

innezuhalten sind.

Im Falle, daß der Multiplikationsstab mehrere Maxima anzeigt, entspricht dasjenige, bei welchem die hellste und intensivste

* Der Handgriff ist weiter nach links gerückt anzunehmen, als gezeichnet.

Digitized by Google

Strahlung stattfindet, der Grundschwingung, die schwächeren Maxima treten bei den Oberschwingungen auf. Die Meßfehler beim Multiplikationsstabe unter Innehaltung des richtigen Abstandes sollen nach den Angaben Slabys kleiner als 2% sein. Bei meh-

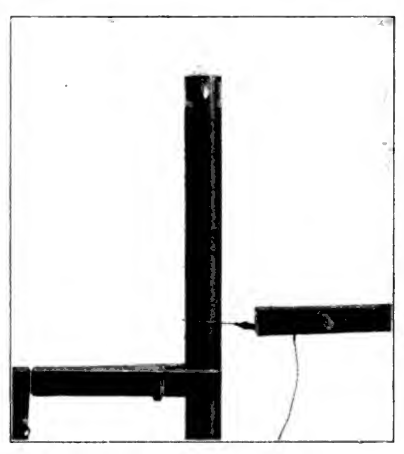


Fig. 85.

reren Ablesungen, aus denen der Mittelwert gebildet wurde, betrugen sie sogar nur 0,5—0,8%.

In Fig. 85 ist schließlich noch die Photographie eines Multiplikationsstabes, der erregt wurde, dargestellt. An der Stabspitze ist deutlich die Lichtfackel erkennbar.

5. Kritik.

a) Vorteile.

Der Stab ist handlich und eichfähig. Man kann direkt die Wellenlänge des zu messenden Systems ablesen, da die Windungen in Frequenzen geeicht werden können. Der Multiplikationsstab ist ferner in elektrischer Beziehung ziemlich empfindlich, jedenfalls empfindlicher als die Resonatorspule, und übt bei richtiger Anwendung keine Rückwirkung auf das zu messende System aus, wie dies etwa bei der Meßspule der Fall ist. Die Dielektrizitäts-

Digitized by Google

konstante des Glasrohres, auf das die Windungen gewickelt sind, ist unveränderlich, wodurch gegenüber dem mit Flüssigkeit gefüllten Kondensatorwellenmesser ein gewisser Vorteil erzielt ist. So ist es möglich, wenn man den Spulendraht auf Porzellan aufwickelt, das sich noch besser in elektrischer Beziehung wie Glas verhält, und wenn man statt des sich mit der Zeit verändernden, stets mehr oder weniger dämpfenden Baryumplatincyanür-Schirmes einen empfindlichen, weniger dämpfenden, wenig oder garnicht veränderlichen Resonanzindikator setzt, ein nahezu absolutes Wellenlängennormal zu schaffen.[×] Der Multiplikationsstab ist schließlich billig und bei einiger Sorgfalt leicht zweckentsprechend herzustellen.

b) Nachteile.

Der Stab muß stets geeicht werden, da es wenigstens bis jetzt so gut wie ausgeschlossen ist, ihn zu berechnen. Der Stab besitzt eine gewisse nicht zu umgehende Kapazitätsempfindlichkeit und eine gewisse Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit und von der Beschaffenheit des Baryumplatincyanür-Schirmes, der sich mit der Zeit verändert und je nach der Art des verwendeten Schirmes von Fall zu Fall verschieden ist. Der außerordentlich feine Spulendraht kann leicht mechanisch beschädigt werden, wodurch die Empfindlichkeit des Stabes stark beeinträchtigt wird. Man kann ferner mit dem Multiplikationsstab nur die Frequenz- bzw. Wellenlänge messen, nicht aber die Kapazität, Selbstinduktion, Kopplung, Dämpfung usw. getrennt, wie beim geschlossenen Kondensatorkreis, mit dem die ganze Resonanzkurve Punkt für Punkt aufgenommen werden kann. Der Stab liefert dahingegen nur das Resonanzmaximum. Quantitative Messungen sind mit ihm nahezu ausgeschlossen. Das tote Stabende verzehrt einen Teil der aufgenommenen Energie, da es mehr oder weniger mitschwingt. Die Empfindlichkeit ist selbst bei sehr sorgfältiger Herstellung nicht über einen gewissen Wert zu bringen und hängt außerdem in hohem Maße von der Art der Erdung des Gleitstiftes (*f* in Fig. 71) ab. Der Eichfehler war bei der alten Eichmethode verhältnismäßig sehr groß. Nach Angabe der Physikalisch-technischen Reichsanstalt[××] soll er etwa 10% betragen haben.

× Gegebenenfalls Einschluß der gesamten Anordnung in ein evakuiertes Rohr.

×× Tätigkeitsbericht der Reichsanstalt vom Jahre 1905 (Zeitschrift für Instrumentenkunde 1906 p. 151). „Die mittlere Abweichung der Slabyschen Eichung gegen die der Reichsanstalt beträgt 10%. Gemeint ist natürlich der methodische Eichungsfehler (der durch Anwendung des alten unsymmetrischen Slabyschen Eichsystems bewirkt wurde) und nicht der zufällige Einstellungsfehler."

Digitized by Google

6. Literatur.

[1] Slaby: E.T.Z. 22. p. 38. 1901. (Abgestimmte und mehrfache Funkentelegraphie.) Slaby: E.T.Z. 24. p. 1007. 1903, (Der Multiplikationsstab ein Wellenmesser für Funkentelegraphie.) Nairz. Prometheus. 16. p. 209. 1904/05. (Vom Teslatransformator zum Wellenmesser.) — [2] Drude: Ann. d. Phys. 9, p. 322. 1902. (Zur Konstruktion von Tesla-Transformatoren, Schwingungsdauer und Selbstinduktion von Drahtspulen.) — [3] Nesper: Ann. d. Phys. 15, p. 768. 1904. (Strahlung von Spulen.) — [4] Slaby: E.T.Z. 25, p. 713. 1904. (Die Abstimmung funkentelegraphischer Sender. Die Eichung der Multiplikationsstäbe.) Slaby: E.T.Z. 26, p. 1003. 1905. (Die Abstimung funkentelegraphischer Sender. Die Geschwindigkeit der Elektrizität an Drahtgebilden). — [5] Drude: E.T.Z. 26, p. 339. 1905. (Die Eichung von Wellenmessern, insbesondere beim Slabyschen Multiplikationsstab.) — [6] Gehrcke: E.T.Z. 26, p 697. 1905. (Über die Messung der Wellenlänge elektrischer Schwingungen.)

7. Patente.

D. R.-P. Nr. 157483: „Vorrichtung zum Nachweis für schnelle elektrische Schwingungen (Multiplikationsstab)“. Angemeldet 30./11. 03. Erteilt 8./11. 04.

Amerik. Patent Nr. 776359: „Indicator for Electric Oscillations“. Angemeldet 26./7. 04. Erteilt 29./11. 04.

Engl. Patent Nr. 15561/04: „Vorrichtung zum Nachweis schneller elektrischer Schwingungen“. Angemeldet 19./7. 04. Erteilt 24./9. 04.

Franz. Patent Nr. 344959: „Vorrichtung zum Nachweis schneller elektrischer Schwingungen“. Angemeldet 19./7. 04. Erteilt 24./9. 04.

Inhaberin der Patente ist die Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. System Telefunken.

---

9. Abstimmvorrichtung von de Forest.

1. Allgemeines. Anordnung.

Die Abstimmvorrichtung und somit auch die Meßvorrichtung von de Forest besteht in der Kombination eines Lechersystems mit dem Luftleitergebilde einer Empfangsstation, und zwar derart, daß bei der Empfangsstation die Antenne oberhalb der Erdungsstelle geteilt ist, und daß von den beiden Teilungspunkten die Lecherdrähte abgezweigt sind. Der dabei auftretende Effekt ist folgender:

Die auf die Empfangsantenne auftreffenden Wellen beliebiger Frequenz durchlaufen die Lecherdrähte bis zu deren Endpunkt oder bis zu einem dazwischenliegenden Schwingungsknotenpunkt. Ein daselbst angeordneter Empfangsindikator, der auf Spannungsamplituden reagiert, kommt hierbei nicht zum Ansprechen. Nur diejenigen Schwingungen, deren Frequenzen übereinstimmen mit der Eigenfrequenz des Lechersystems, erregen den Empfangsindikator. Wenn man daher den End- oder Überbrückungspunkt (s. Parallel-

Digitized by Google

drahtsystem, S. 25 ff.) variabel macht, kann man das Lechersystem direkt in Frequenzen eichen und so die Wellenlänge der aufgenommenen Schwingungen bestimmen. So einfach nun auch eine derartige Vorrichtung wäre, so ist sie doch für die Praxis aus dem Grunde ungeeignet, weil die Länge der Lecherdrähte bei den tatsächlich vorkommenden Wellenlängen viel zu groß werden würde. Die ganze Anordnung würde wegen ihrer Unhandlichkeit vollkommen unbrauchbar sein. De Forest hat nun den Kunstgriff gebraucht, isolierte Lecherdrähte zu verdrallen, bzw. sie in variablen Abständen (entsprechend den Viertelwellenlängen) anzuordnen und die einzelnen Abschnitte in Isolatoren zu betten, deren Dielektrizitätskonstanten voneinander verschieden sind.

Infolge des Dralls wird ein Wechsel in der Richtung der Leiter herbeigeführt, und es bleibt die Wirkung der Lecherdrähte unverändert. Wesentlich ist hingegen, daß der gegenseitige Abstand der Drähte im Bereich von $\frac{\lambda}{4}$ zu $\frac{\lambda}{4}$ derselbe bleibt. Um ferner Platz zu sparen, wickelt de Forest die verdrallten Drähte auf Spulen oder in Spiralform und ordnet die ganze Vorrichtung, aus Isolationsgründen und um die Dielektrizitätskonstante zu erhöhen, in einem flüssigen oder halbflüssigen Isolator an.

Bei der anderen von de Forest vorgeschlagenen Anordnung werden die geradlinig ausgespannten Lecherdrähte entsprechend den auftretenden $\frac{\lambda}{4}$ genähert oder entfernt, oder mit Isolatoren verschiedener Dielektrizitätskonstante umgeben, oder es werden schließlich beide Anordnungen vereinigt.

Je nachdem die Drähte genähert oder entfernt werden, wird die elektrische Feldintensität vermehrt oder vermindert. Das Umgekehrte gilt für die magnetische Eeldintensität.

2. Ausführungsformen.

Gemäß der obigen Einteilung zerfällt die de Forestsche Abstimmvorrichtung in zwei Arten:

A. Lechersystem mit verdrallten Drähten,

B. Lecherdrähte mit variablem Abstand und Isolatoren verschiedener Dielektrizitätskonstante.

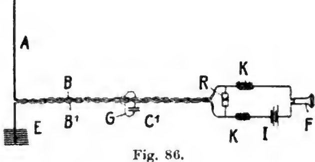


Fig. 86.

A. Abstimmvorrichtungen mit verdrallten Drähten sind in den Fig. 86, 87 und 88 dargestellt.

Digitized by Google

Die Buchstaben haben in allen drei Fällen dieselbe Bedeutung: *A* ist der Luftleiter, *E* die Erdung, *B* und *B'* sind die verdrallten Lecherdrähte, *R* ist ein Indikator, *K* sind Drosselspulen, *J* ist ein Potentiometer, *F* ein Telephon, *G* eine Lechersche Brücke, und *C* ist ein Kondensator. *G* ist beliebig einstellbar, so daß nur Wellen der

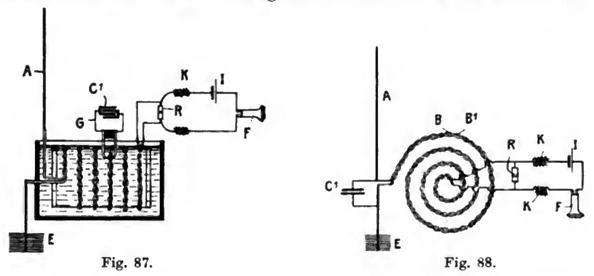


Fig. 87. Fig. 88.

bestimmten Periodenzahl in der Empfangsvorrichtung zur Wirkung gelangen. De Forest gibt an, daß der Drall nicht allzu steil gewählt werden soll, wahrscheinlich aus dem Grunde, weil sonst doch Unregelmäßigkeiten in der Feldstruktur auftreten könnten.

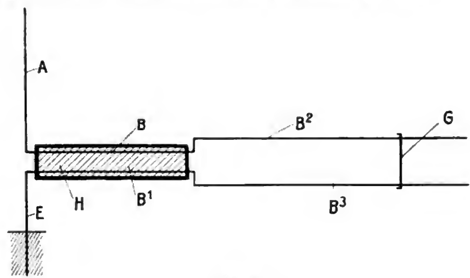


Fig. 89.

Eine, was Raumbeanspruchung anbetrifft, besonders günstige Ausführungsform ist in Fig. 88 dargestellt.

B. Lecherdrähte mit variablem Abstand und Anwendung von Isolatoren verschiedener Dielektrizitätskonstante.

Eine Verwendung der Antenne mit Lecherdrähten mit variablem Abstand und verschiedenen Isolatoren ist in Fig. 89 wiedergegeben.

Digitized by Google

Die Stücke $BB^1B^2B^3$ entsprechen in ihren elektrischen Verhältnissen jedesmal $\frac{\lambda}{4}$ oder einem Vielfachen einer Viertelwellenlänge. H ist ein Kasten, der mit einem flüssigen Isolator gefüllt ist; hierdurch wird bewirkt, daß in jedem Abschnitte dieselbe Frequenz erzielt wird, obgleich die elektrischen Konstanten jedes Abschnittes verschieden sind.

3. Kritik.

Die Vorrichtung kann für kleine Wellenlängen als Demonstrationsanordnung in Betracht kommen, insbesondere nach der Ausführung in Fig. 86, sobald es gelingt, den Drahtdurchmesser klein zu machen gegenüber dem gegenseitigen Drahtabstand. Bei sehr sorgfältiger Herstellung ist es ferner nicht ausgeschlossen, die Anordnung nach Fig. 89 so auszubilden, daß nur Schwingungen bestimmter Frequenz im Lechersystem zur Wirkung gelangen. Die Anordnung nach Fig. 87 erscheint bedenklich wegen der Kapazitätsverhältnisse. Die Eichung des Systems auf Frequenzen bei Verwendung des Dralls kommt indessen für praktische Ausführungen nicht in Betracht.

4. Patente.

D. R.-P. Nr. 157346: „Abstimmvorrichtung für die drahtlose Telegraphie." L. de Forest. Angemeldet 4./3. 03. Erteilt 12./12. 04.

D. R.-P. Nr. 161898: „Vorrichtung für Transformation der Schwingungen in Leiteranordnungen von der Form des Lechersystems bei der drahtlosen Telegraphie." L. de Forest. Angemeldet 4./3. 03. Erteilt 3./7. 05.

Amerik. Patent Nr. 730246: „Space Telegraphy". L. de Forest. Angemeldet 8./5. 02. Erteilt 9./6. 03.

„ „ „ 730247: „Space Telegraphy." L. de Forest. Angemeldet 4./11. 02. Erteilt 9./6. 03.

„ „ „ 730819: „Space Telegraphy." L. de Forest. Angemeldet 8./5. 02. Erteilt 9./6. 03.

---

10. Der Frequenzmesser von Rendahl.

1. Schaltung.

Der Rendahlsche Wellenmesser ist ebenso wie die Franke-Dönitzsche Meßvorrichtung ein geschlossener Schwingungskreis mit veränderlicher Frequenz. Im Gegensatz zu ersterer ist jedoch beim Rendahlschen Resonanzkreis die Selbstinduktion stetig veränder-

Digitized by Google

lich und die Kapazität stufenweise variabel. Diese Anordnung, bei der die Selbstinduktionsvariation durch Veränderung der gegenseitigen Lage zweier Spulen und damit ihrer Felder erfolgt, hat in elektrischer Hinsicht gewisse Vorteile, insbesondere den Vorzug, daß die Änderung der Selbstinduktion nahezu geradlinig verläuft, daß sie also beständig zunimmt, während sie bei Anordnungen mit ineinander verdrehten oder verschobenen Spulen ungleichförmig geändert wird, so zwar, daß die Selbstinduktion anfangs sehr rasch und später verhältnismäßig wenig zunimmt, daß ferner die Eigenkapazität der Spulen nahezu konstant bleibt und damit die Gesamtanordnung sehr wenig kapazitätsempfindlich ist. Hierzu kommt eine besser übereinstimmende Lage des Isochronitätspunktes mit der Resonanzlage, wenn direkt auf die Spulen *a b* des Frequenzmessers (Fig. 90) induziert wird. Ein weiterer Vorteil besteht in der Wahl und Dimensionierung der stufenweise veränderlichen Kapazität. Diese ist in vier verschiedene Gruppen geteilt, so daß nacheinander mit einem Stöpselschalter kontinuierlich wachsende Kapazitätsbeträge eingeschaltet werden können. Die gewählte feste Kondensatorkonstruktion hat die Vorzüge, keine Isolierungs- und Dichtungsschwierigkeiten an den Zuführungsstellen zu besitzen, ein festes unveränderliches Dielektrikum anwenden und schließlich als solches ein Material benutzen zu können, das eine beliebig kleine Dämpfung besitzt.

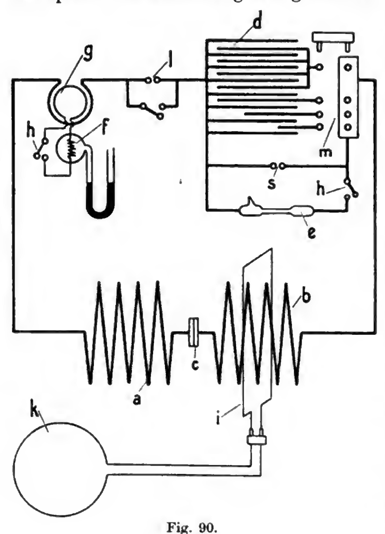


Fig. 90.

In Fig. 90 ist das Schaltungsschema des Rendahlschen Wellenmessers wiedergegeben. *a* und *b* ist die stetig veränderliche Selbst-

Digitized by Google

induktion (s. auch Fig. 96), *c* die Verbindungsstelle derselben (Knopf), *d* ist die stufenweise variable Kapazität, *m* ist eine dazu gehörende Stöpselschaltvorrichtung.

Als Resonanzanzeiger werden beim Rendahlschen Wellenmesser Spannungs- und Stromindikatoren benutzt, und zwar eine Geißlerröhre *e* und ein Hitzdrahtluftthermometer *f*. Mit ersterer sollen insbesondere schnell Messungen ausgeführt werden, wie z. B. Aufsuchung des Resonanzmaximums. Für quantitative Messungen dient allein das Hitzdrahtthermometer, das auch bequem so ausgebildet werden kann, daß objektive Messungen möglich sind. Das Luftthermometer ist wie beim Franke-Dönitzschen Wellenmesser induktiv (*g*) mit dem Schwingungskreis gekoppelt. Auf diese Weise können beliebig große Ausschläge erzielt werden, je nach dem in den Thermometerdraht gelangenden quadratischen Wert der Stromstärke. Die Geißlerröhre und das Hitzdrahtthermometer sind mit je einem Ausschalter *h* verbunden, um nach Bedarf das eine oder andere Instrument einschalten zu können.

Besonders abweichend vom Franke-Dönitzschen Wellenmesser ist die Art, in welcher die Kopplung mit dem zu messenden Schwingungssystem bewirkt wird. Beim Frequenzmesser mit stetig variabler Kapazität wird direkt der betreffende Selbstinduktionsring zur Übertragung benutzt. Beim Rendahlschen Frequenzmesser ist die zur Kopplung benutzte Selbstinduktionswindung *i* fest mit der unteren Selbstinduktionsspule verbunden und unterhalb derselben angeordnet, wodurch die Kopplung, trotz Veränderung der Selbstinduktion *a b*, einen annähernd ebenso konstanten Wert wie beim Franke-Dönitzschen Wellenmesser bekommt. Die Windung *i* wird mit einer außerhalb des Wellenmessers aufgestellten Spule *k* erregt, auf welche die Schwingungen des zu messenden Systems einwirken.

Der Rendahlsche Wellenmesser dient nicht nur als Vorrichtung zur Bestimmung der Frequenz eines anderen Systems, sondern auch zur Erzeugung von Schwingungen bestimmter Frequenz. Zu diesem Zwecke wird das Indikationsinstrument abgeschaltet und an seiner Stelle eine Funkenstrecke *l* eingeschaltet.

2. Konstruktion.

Die Ausführung und Anordnung der Einzelteile ist aus den Fig. 91, 92 und 93 zu ersehen. Von dem in Fig. 90 dargestellten Schaltungsschema sind die Wicklungen *a* und *b* in Fig. 91 [×] im Detail

[×] Zu Fig. 91 und 92 gehört die Stückliste auf Seite 100.

Digitized by Google

gezeichnet. Zahl 2 stellt den aus Hartgummi gefertigten Oberteil, 3 den gleichfalls aus Hartgummi bestehenden Unterteil dar. Auf

Pos.	Anzahl	Gegenstand	Material
1.	1	Griff	Hartgummi
2.	1	Oberteil	,,
3.	1	Unterteil	,,
4.	1	Büchse	,,
5.	1	Griffzylinder	,,
6.	1	Mutter	,,
7.	1	Kappe	Holz
8.	1	Achse	Stahl
9.	1	Zeiger	Messing
10.	3	Stöpselklemmen	,,
11.	3	Platten	,,
12.	2	,,	,,
13.	2	Büchsen	,,
14.	2	Schnapper	,,
15.	2	Muttern	,,
16.	2	Federn	Stahl
17.	2	Stifte	Eisen
18.	1	Scheibe	Messing
19.	1	Kontaktscheibe	,,
20.	1	,,	,,
21.	6	Holzschrauben	,,
22.	12	Schrauben	,,
23.	1	Schraube	,,
24.	2	Stöpselbuchsen	,,
25.	1	Schraube	,,
26.	3	,,	,,
27.	8	,,	,,
28.	6	Platten	,,
29.	1	,,	,,
30.	1	Feder	Stahl
31.	9	Platten	Messing
32.	3	,,	,,
33.	2	,,	,,
34.	1	Streifen	Hartgummi
35.	1	Verbindungsstück	Kupfer
36.	2	Muttern	Messing
37.	3	,,	,,
38.	5	Holzschrauben	,,
39.	40	Schrauben	,,
40.	4	Platten	,,
41.	16	,,	,,

Litze, bestehend aus Kupferdraht mit Gummiisolation 0,4 mm blank, 1,4 mm ∅.

Digitized by Google

letzteren ist eine Holzkappe 7 aufgeschraubt. In 2 und 3 sind die Wicklungen *a* und *b* eingelegt, wobei die Art und der Sinn der Drahtführung aus der Zeichnung zu ersehen ist. Die Drehung

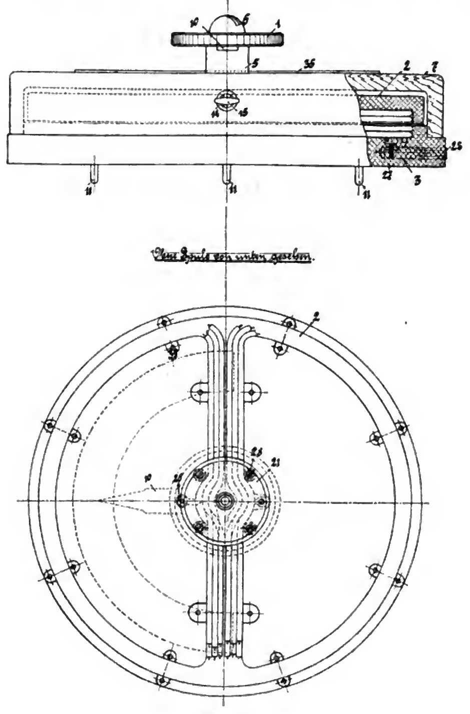
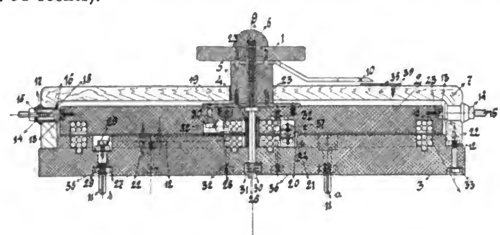


Fig. 91.

der Wicklungen gegeneinander wird mit einem Griff 1 bewirkt, der mit einem Zeiger 10 verbunden ist. Dieser Zeiger bestreicht eine Skala *o* (s. Fig. 93), die in Graden, bzw. in Wellenlängen geeicht ist. Die gesamte Vorrichtung wird mittels der Stöpsel 11 auf den die Kapazität und die Resonanzindikatoren enthaltenden Kasten

Digitized by Google

gestöpselt. Es befindet sich ferner an dieser Scheibe der Stöpselkontakt 25 für den Anschluß der Übertragungsspule *k* (Fig. 92 und Fig. 94 rechts).



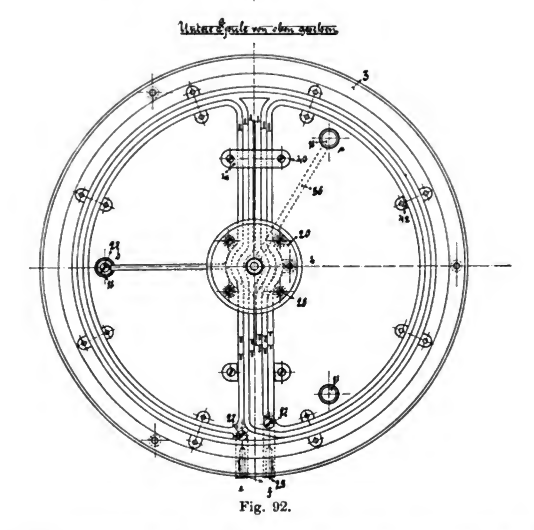


Fig. 92.

Um eine Verdrehung der oberen Spule über den Anfangs- und Endwert hinaus zu verhindern, ist bei Stellung 0° und 180° des Zeigers seitwärts eine Arretierung angebracht, welche ein Hinausdrehen der drehbaren Wicklung der Selbstinduktion über diese Stellungen nicht gestattet.

Digitized by Google

Zwei Enden der Selbstinduktionswicklungen sind an zwei Gleitkontakte gelegt. Von den beiden anderen Enden geht, wie auch aus dem Schaltungsschema in Fig. 90 ersichtlich, das eine

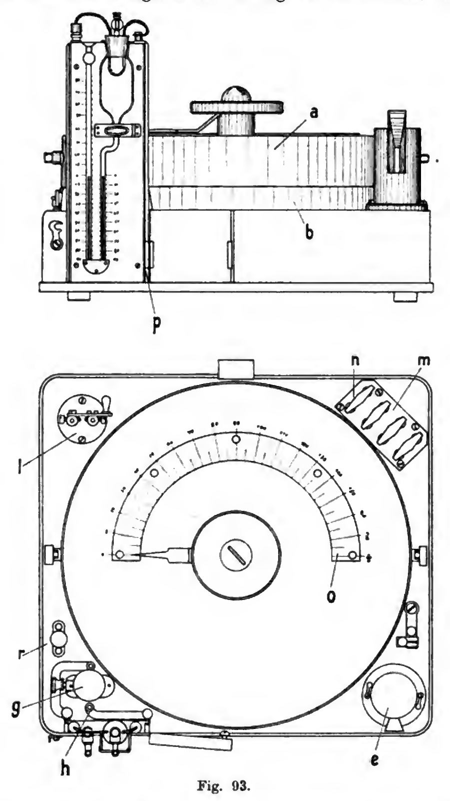


Fig. 93.

Ende an die Primärwicklung des Transformators für das Hitzdrahtinstrument, das andere an einen festen Punkt eines Stöpselschalters *m*, der andererseits mit dem Kondensator verbunden ist.

Digitized by Google

Die stufenweise veränderliche Kapazität ist in vier verschiedene Gruppen eingeteilt. Jede Gruppe ist für einen bestimmten Meßbereich dimensioniert und die Verbindung der Gruppen untereinander ist so gewählt, daß diese einen kontinuierlichen Meßbereich ergeben. Von jeder Gruppe führt eine Verbindung zu dem Stöpselschalter *m*, welcher mit vier Stöpseln ausgestattet ist, die zum Einschalten der betreffenden Gruppen dienen. Der Schalter ist aus Isolationsgründen auf einer besonderen Hartgummiplatte *n* (Fig. 93) montiert.

Die Kapazität besteht bei der vorliegenden Ausführung aus Stanniolstreifen mit dazwischengelegten Hartgummiplatten. Statt deren könnte selbstverständlich auch wenig dämpfendes, englisches Flintglas als Isolationsmaterial benutzt werden. Zur besonderen Sicherung der Isolation, insbesondere um diese vor Überspannungen zu sichern, ist parallel zum Kondensator eine Funkenstrecke *s* (s. Fig. 90) vorgesehen, welche im Innern des Gehäuses, das den Kondensator enthält, montiert ist.

Das untere Gehäuse enthält außer dem Kondensator auf dem Deckel die Geißlerröhre *e*, den Druckschalter *h*, den Transformator *g* und die Funkenstrecke *l*. Die Geißlerröhre ist, um auch Ablesungen im Hellen bewirken zu können, in einer Kamera eingeschlossen, welche vorn eine längliche Öffnung besitzt. Der Ausschalter, welcher zur Geißlerröhre gehört, ist unmittelbar an der Kamera angebracht. Das Hitzdrahtthermometer wird bei Nichtgebrauch des Wellenmessers, um jede Beschädigung auszuschließen, aus der dargestellten Gebrauchsstellung entfernt und im Kondensatorgehäuse untergebracht. Zu diesem Zwecke ist im Gehäuse unterhalb des Transformators eine verschließbare Öffnung angebracht. Beim Einstecken des Instrumentes in das Gehäuse werden die Kontaktschienen *p* in dafür vorgesehene Nuten eingeführt. Hierbei müssen die Hähne der Röhre, welche die Thermometerflüssigkeit enthält, geschlossen werden. Zu diesem Zwecke ist der Verbindungshahn zwischen der Röhre und dem Raume, in welchem der Thermometerhitzdraht angeordnet ist, mit einem Verschluß versehen, der nur eingelegt werden kann, wenn der Hahn geschlossen ist. Geöffnet verhindert der Verschluß die Hineinbringung des Thermometers in das Gehäuse. Damit das Thermometer beim Transport eine feste Lage erhält, wird dieses durch eine Feststellvorrichtung, bestehend aus einer Nase, die durch eine Feder gegen eine Kontaktschiene des Thermometers gedrückt wird, festgehalten. Die Feststellvorrichtung wird gelöst durch Niederdrücken eines aus dem Deckel des Kondensatorgehäuses hervorragenden Knopfes *r*.

Digitized by Google

Beim Gebrauch des Wellenmessers als Vorrichtung zur Erzeugung von Schwingungen bestimmter Periodenzahl ist die Funkenstrecke *l* vorgesehen, welche auf einer besonderen Hartgummiplatte montiert ist. Die Funkenstrecke besteht aus zwei Ständern mit verstellbaren Spitzschrauben. An den Ständern ist zugleich der Ausschalter in Form eines Kontakthebels angebracht, um die Funkenstrecke kurz zu schließen, wenn der Wellenmesser als Empfänger und nicht als Erreger benutzt wird.

Fig. 94 gibt ein Bild von der Ausführung des Wellenmessers.



Fig. 94.

Die Kamera für die Geißlerröhre steht abgenommen neben dem Gehäuse vor der vertikal angeordneten Übertragungsspule *k*.

3. Theorie und Rechnung.

Die physikalischen Grundlagen des Rendahlschen Frequenzmessers sind dieselben, wie die des Franke-Dönitzschen Wellenmessers. Das daselbst und früher für den geschlossenen variablen Resonanzkreis Mitgeteilte kann im wesentlichen direkt übernommen werden. Eine genaue theoretische Ableitung der durch die Drehung der beiden Selbstinduktionsspulen gegeneinander hervorgerufenen Feldverteilungen war bisher nicht möglich. Somit konnten die Wicklungen auch nur annähernd berechnet werden. Eine Eichung

Digitized by Google

für jede Skalenstellung, wie unten beschrieben, ist deshalb vorläufig unerläßlich.

4. Untersuchung und Eichung.

Im folgenden sind die elektrischen Daten zusammengestellt, welche zur Bestimmung des Meßbereiches und der Größenverhältnisse in elektrischer Beziehung dienten.

Zunächst wurden die maximalen und minimalen Selbstinduktionsbeträge des Wellenmessers festgestellt, wobei an Stelle des abgestuften Kondensators ein gewöhnlicher Drehkondensator (s. Fig. 123) angewendet wurde, der in der benutzten Stellung eine Kapazität von 405 cm besaß.

Das Schaltungsschema folgt aus Fig. 95. *abc* stellt einen Franke-

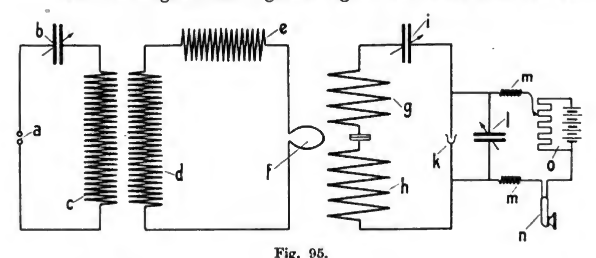


Fig. 95.

Dönitzschen Wellenmesser dar mit Funkenstrecke zur Erzeugung von Schwingungen bestimmter Periodenzahl. Ein Zwischensystem, bestehend aus den Selbstinduktionsspulen *def*, überträgt die Schwingungen auf das die drehbare Selbstinduktion *gh* enthaltende Meßsystem, das zu eichen ist. *i* ist der schon genannte Drehkondensator mit 405 cm Kapazität. *k* ist eine elektrolytische Zelle mit variablem Parallelkondensator *l*, den Drosselspulen *m*, dem Telephon *n* und der Potentiometeranordnung *o*. Die Rückwirkung des erregten auf den erregenden Kreis war hierbei so gut wie ausgeschlossen; entsprechend der gegenseitigen Lage der Wicklungen *gh* war die Lautstärke im Telephon verschieden. Die Schaltung der Wicklungen war genau die gleiche wie in Fig. 91. Schematisch ist diese nochmals in Fig. 96 zum Ausdruck gebracht. Je nach ihrer gegenseitigen Stellung zueinander schwächen oder verstärken sich die Spulenfelder.

Fig. 96.

Digitized by Google

Die Skala der oberen Spule wurde in vierundzwanzig gleiche Teile geteilt und die zu jedem Teil gehörende Wellenlänge ermittelt. Die so gefundenen Werte sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Stellung:	1	2	$2^1/_2$	3	$3^1/_2$	4	$4^1/_2$	5	6	7	8	9
Wellenlänge:	340	350	359	360	364	363	352	340	338	321	309	300

Stellung:	10	11	12	13	14	$14^1/_2$	15	$15^1/_2$	16	$16^1/_2$	17	18
Wellenlänge:	285	255	235	225	203	195	186	183	187	192	203	226

Stellung:	19	20	21	22	23	24
Wellenlänge:	243	255	270	292	310	320.

Für den kleinsten Selbstinduktionswert, den man erhält, wenn der Zeiger in Fig. 93 links anliegt, ergibt sich aus obiger Tabelle (berechnet) 20750 cm. Die maximale Selbstinduktion ergab sich (Rechtsstellung des Zeigers) mit 96700 cm.

Der Kondensator i wurde nunmehr durch eine Anordnung ersetzt (Fig. 97), deren Kapazitätsdimensionen folgende waren:

Fig. 97.

An k waren angeschlossen:	8	Doppelbelegungen	von	200 × 200 mm
,, k_1 ,, ,,	1	,,	,,	16 × 200 ,,
,, k_2 ,, ,,	1	,,	,,	50 × 200 ,,
,, k_3 ,, ,,	1	,,	,,	200 × 200 ,,
,, k_4 ,, ,,	4	,,	,,	200 × 200 ,,

Die mit der Telephonbrücke gemessenen Kapazitätswerte waren:

$$k_1 = 200 \text{ cm}$$
$$k_2 = 586 \text{ cm}$$
$$k_3 = 2230 \text{ cm}$$
$$k_4 = 8950 \text{ cm}$$

Zusammen mit dem Maximal- und Minimalwert der Drahtselbstinduktion ergaben die vier Kapazitäten k_1, k_2, k_3, k_4 folgende Wellenlängen:

$$g h_{\max} = 290 \quad 470 \quad 950 \quad 1800 \text{ m}$$
$$g h_{\min} = 130 \quad 220 \quad 470 \quad 845 \text{ m}$$

Der Meßbereich des Frequenzmessers lag mithin zwischen 130 m und 1800 m.

Digitized by Google

5. Kritik.

Vorzüge.

Infolge des festen Isolators im Kondensator sind Isolationsveränderungen so gut wie ausgeschlossen. Es ist ferner keine Dichtungsschwierigkeit wie bei flüssigem Dielektrikum, insbesondere an den Zuleitungsstellen, vorhanden. Ferner besteht die Möglichkeit, einen Isolator anzuwenden mit außerordentlich kleiner, für verschiedene Frequenzen konstanter Dämpfung. Als weiterer Vorteil sind die kontinuierlich veränderlichen, gradlinig wachsenden oder abnehmenden Selbstinduktionsbeträge anzusehen. Die Anordnung ist sehr wenig kapazitätsempfindlich, und es ist möglich, wenn man die Selbstinduktionsspulen zur Kopplung benutzt, eine annähernde Übereinstimmung der Resonanzlage mit dem Isochronitätspunkte herzustellen. Man hat mit dem Frequenzmesser die Möglichkeit, Selbstinduktion, Kapazität, Kopplung usw. eines Schwingungssystems getrennt zu messen und volle Resonanzkurven aufzunehmen.

Der Frequenzmesser besitzt ein kleines Gewicht und ist sehr kompendiös.

Nachteile.

Die Herstellung der Selbstinduktionswicklungen ist schwierig und daher teuer. Dieser Übelstand könnte allerdings bis zu einem gewissen Grade bei Massenanfertigung des Instrumentes durch Schablonenwicklung beseitigt werden. In elektrischer Beziehung bestehen die Nachteile, daß die Selbstinduktionswerte der Wicklung von der Schwingungszahl abhängig sind, und daß die Kopplung infolge der Veränderung der Selbstinduktion und die Dämpfung des Wellenmessers sehr variabel ist.

---

11. Der Frequenzmesser von Ives-de Forest.

1. Allgemeines.

Der für die American de Forest Wireless Telegraph Company von Ives und de Forest konstruierte Wellenmesser besteht aus einem geschlossenen Schwingungskreise, dessen Kapazität stufenweise, und dessen Selbstinduktion kontinuierlich veränderlich ist. Der Aufbau zerfällt symmetrisch in zwei Teile, nämlich in zwei durch eine Funkenstrecke getrennte Kapazitäten und zwei Selbstinduk-

Digitized by Google

tionen, wobei konstruktiv die Selbstinduktion über der Kapazität angeordnet ist. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß sie aus Symmetriegründen ohne weiteres mittels des Lechersystems geeicht werden kann. Die Kapazität besteht aus Glasplattenkondensatoren, deren Metallbelegungen an Stufenschalter gelegt sind, welche je nach der Zahl der parallel geschalteten Belegungen verschieden große Kapazitätsbeträge leicht herzustellen gestatten. Die Selbstinduktionen sind je zwei auf Zylinderflächen gewickelte Spulen, von denen die eine fest und die andere in dieser drehbar angeordnet ist, derart, daß mit der Verdrehung der Spulen gegeneinander die Felder verdreht und somit die Beträge der gegenseitigen Induktion verschieden werden. Eine gute, allmähliche Veränderung der Selbstinduktion ist damit gewährleistet.

Bei einer älteren Ausführungsform des Wellenmessers von Ives-de Forest waren die Spulen vertikal gegeneinander verstellbar, was infolge der nicht gleichzeitigen Verstellung Unstetigkeiten in der Variation zur Folge gehabt haben soll. Es wäre allerdings wohl möglich gewesen, durch Zahnräder, Schnecken oder dergl. eine allmähliche Änderung herbeizuführen.

Ein Resonanzindikator ist dem Ives-de Forestschen Frequenzmesser nicht beigegeben. Es wird vielmehr statt dessen in das zu untersuchende System jedesmal ein Hitzdrahtinstrument eingeschaltet, das die Abstimmungsstellung registriert.

Der genannte Wellenmesser ist übersichtlich in einem Holzkasten eingebaut und hat ungefähr die Abmessung 56 cm Höhe, 76 cm Breite und 37 cm Tiefe, erfordert also mehr Platz als der Franke-Dönitzsche Wellenmesser, dürfte aber handlicher als die älteren Ausführungsformen des Flemingschen Cymometers sein.

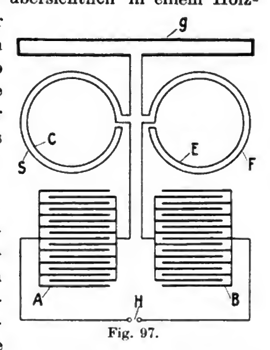


Fig. 97.

2. Konstruktion.

Schematisch zeigt Fig. 97 den Frequenzmesser. *A* und *B* sind die Glasplattenkondensatoren, die unten in den Apparat eingebaut sind. Sie bestehen aus je 43 quadratischen Glasplatten von 20 cm Seitenlänge; die gleichfalls quadratischen Stanniolbelegungen haben 17,5 cm Seitenlänge. Die Dicke der Glasplatten beträgt für die großen Kapazi-

Digitized by Google

tätswerte 0,8 mm und nimmt für kleiner werdende Kapazitäten kontinuierlich zu bis zu 6 mm. Auf der Rückseite des Apparates ist ein Schalter zum Abschalten der Platten angebracht.

Die unterteilten Kondensatorbelegungen sind vorn am Frequenzmesser an Schalterkontakte geführt, die in Fig. 98 unten zu sehen sind. Letztere, bzw. die Metallbelegungen sind mit den Selbstinduktionsspulen *CSEF* derart verbunden, daß die drehbaren Spulen *C* und *E* direkt angeschlossen sind und der Strom aus diesen durch Schleifkontakte in die senkrecht feststehenden Spulen *S* und *F* eintritt. Die Schleifkontakte werden aus zwei kleinen flachen konzentrischen Messingringen gebildet, welche an der inneren Spule befestigt sind. Die äußeren Spulen tragen Schleifbürsten und stehen so mit den inneren in Verbindung. Der Spulendraht hat 2,5 mm ϕ und ist auf Hartgummikörper gewickelt. Die Spulen *C* und *E* sind auf einer gemeinsamen durchgehenden Welle gelagert, die seitlich eine Kurbel besitzt. Letztere bestreicht eine in Grade geteilte Skala, so daß stets die relative Lage der beweglichen Spulen gegen die feste und damit ihre gegenseitige Induktion bestimmt werden kann. Die äußeren Spulen haben einen Durchmesser von 285 mm, die inneren einen solchen von 245 mm. Die äußeren Spulen sind ferner mit einem im Wellenmesser oben angebrachten rechteckigen Rahmen, der aus Vierkantmessing von 6×3 mm hergestellt ist, verbunden.

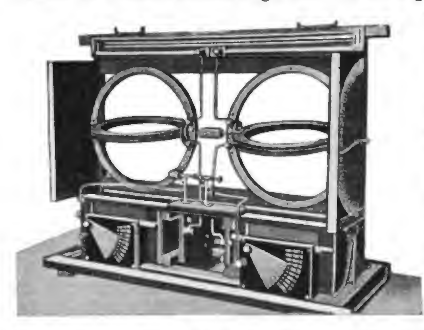


Fig. 98.

In dem unteren Teile besitzt der Apparat eine Funkenstrecke *H*, welche an die Kondensatorbelegungen angeschlossen ist und die bei Erregung des Apparates, also bei jeder Wellenmessung, mit einem kleinen Induktor verbunden wird.

Digitized by Google

3. Eichung und Berechnung.

Wegen der Schwierigkeiten, die sich einer genauen Kapazitätsberechnung entgegenstellen, wurde der Wellenmeser zunächst geeicht, und zwar bei der maximalen Selbstinduktionsstellung der Spulen für die einzelnen zwölf Gruppen der Kapazitäten.

Die Eichung erfolgte mit einem Lechersystem in der Form, wie es Fig. 99 wiedergibt. Das Lechersystem bestand aus zwei blanken Kupferdrähten von je 2,5 mm Durchmesser, die in einem Abstande von 15 cm voneinander parallel ausgespannt waren. Wegen der beschränkten Größe des zur Verfügung stehenden Eichraumes (15 m Breite × 37 m Länge) waren die Lecherdrähte in vier Reihen 120 cm über dem Fußboden isoliert verlegt.

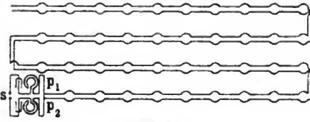


Fig. 99.

Die Gesamtlänge des verwandten Drahtes betrug 150 m, von je 3 zu 3 m waren die Drähte unterteilt und halbkreisförmig, wie gezeichnet, gebogen. Die Verspannung der Drähte wurde durch kräftige Hanffäden bewirkt. Gegebenenfalls konnten die kreisförmigen Stücke entfernt und durch geradlinige Drahtstücke ersetzt werden. Es war somit ein Eichsystem mit großer Variabilität geschaffen.

Die Eichung selbst wurde in der Weise bewirkt, daß an den oben befindlichen Kontaktrahmen G des Instrumentes in zwei Punkten p_1 und p_2 (siehe Fig. 101 und 102) das Lechersystem angeschlossen und darauf der Frequenzmesser erregt wurde. Die in dem als Sender arbeitenden Frequenzmesser erzeugten Schwingungen übertragen sich mehr oder weniger auf das lose gekoppelte Lechersystem (je nach Lage der Punkte p_1 und p_2), in welchem sich Wellen ausbilden und mittels Geißlerröhre oder Mikrometerfunkenstrecke wahrgenommen werden können. Die Einregulierung erfolgte in der Weise, daß für jede Kondensatorstellung die dazu gehörende Wellenlänge ermittelt wurde, was jedesmal durch Verschiebung der Geißlerröhre geschah. Darauf wurden die Spulen gegeneinander so lange verdreht, bis die maximale Resonanzwirkung im Lechersystem erreicht war. Eine aus ca. 50 Versuchen hervorgegangene Kurve ist in Fig. 100 wiedergegeben. Mit den im Koordinatennetz eingetragenen Zahlen sind die Kondensatorunterteilungen bezeichnet. Wenn es gelungen wäre, die Kapazitätsbeträge kontinuierlich größer, bzw.

Digitized by Google

kleiner werden zu lassen, hätte man als resultierende Kurve keine gebrochene Linie, sondern selbstverständlich eine stetig verlaufende Kurve erhalten. Aus dem Diagramm ist übrigens der geringe Ein-

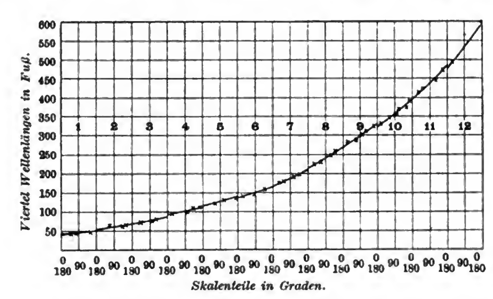


Fig. 100.

fluß der gegenseitigen Spulenverdrehung und damit der Veränderung der Selbstinduktion zu ersehen.

Die Eichresultate wurden von Ives rechnerisch nachgeprüft, und zwar wurden immer die am weitesten rechts liegenden Punkte jedes Kurvenstückes, d. h. die Punkte für maximale Selbstinduktion nachgerechnet. Die dafür in Betracht kommenden Kapazitäten wurden gemessen. Die Wellenlänge ist

$$\lambda = 2 \pi v \sqrt{CL}$$

wo $v = 3 . 10^{10}$ cm/Sek. angenommen wird.

Die Selbstinduktion des Instrumentes besteht aus folgenden Teilen:

L_1 = Selbstinduktion der äußeren linken Spule,
L_2 = Selbstinduktion der inneren linken Spule,
L_3 = Selbstinduktion der äußeren rechten Spule,
L_4 = Selbstinduktion der inneren rechten Spule,
M_{12} = die gegenseitige Induktion von L_1 und L_2,
M_{34} = die gegenseitige Induktion von L_3 und L_4.

Aus konstruktiven Gründen ist $L_1 = L_3$ und $L_2 = L_4$, daher auch $M_{12} = M_{34}$. Man erhält daher für die gesamte Selbstinduktion den einfachen Ausdruck:

$$L = 2 L_1 + 2 L_2 + 4 M_{12}.$$

L_1 und L_2 werden berechnet nach der Formel:

Digitized by Google

$$L = 4\pi R \ln \frac{R}{g} + 0{,}8$$

ferner

$$M_{12} = 4\pi R_1 \left(\ln \frac{R_1}{d} + 0{,}8 \right)$$

In den Ausdrücken bedeutet R, bzw. R_1 den Radius der betreffenden Spule, g den Radius des Spulendrahtes und d den Abstand der beiden Spulen. Die Rechnungsresultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Es zeigt sich, daß die berechneten Werte von den durch Eichung gefundenen nur sehr wenig abweichen:

Sektions-nummer	Kapazität in Mikrofarad der beiden Kondensatoren in Serie	Maximum der Viertel-Wellenlänge in Fuß	
		Berechnet	Durch Versuche
1	0,0248	586	587
2	0,0174	490	478
3	0,0116	409	390
4	0,00815	336	328
5	0,00525	269	267
6	0,00325	212	208
7	0,00204	167	163
8	0,00149	144	138
9	0,00091	112	110
10	0,00054	86	85
11	0,00037	63	67
12	0,00022	54	50

4. Anwendungen.

Die Durchführung der Frequenzmessung an einem geschlossenen und an einem offenen Schwingungssystem ist in den Fig. 101 und 102 schematisch wiedergegeben.

Die Feststellung der Frequenz eines geschlossenen Kreises erfolgt, indem der letztere an einer Stelle aufgeschnitten wird und die so entstehenden Endpunkte mit zwei Punkten p_1 und p_2 des Kontaktrahmens G verbunden werden. Ferner wird in das zu messende System möglichst in die Nähe des Strombauches ein Hitzdrahtinstrument eingeschaltet. Wenn nun der Wellenmesser erregt wird, werden Schwingungen in dem zu messen-

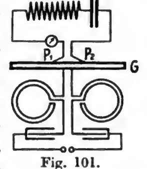


Fig. 101.

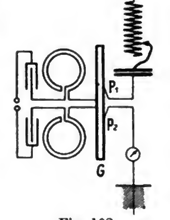


Fig. 102.

Digitized by Google

den Kreise hervorgerufen, wobei letzterer entsprechend der Lage der Punkte p_1 und p_2 mehr oder weniger fest gekoppelt ist. Sobald nun das Meßsystem mit dem zu messenden System in Resonanz ist, was durch Variation von A, B, C, S, E, F bewirkt wird, findet ein maximaler Ausschlag im Energieanzeiger statt. Die dabei abzulesende Frequenz des Wellenmessers ist die gesuchte des zu messenden Systems.

Man kann je nach Art des verwandten Energieanzeigers die Kopplung bemessen. Diese kann indessen bei Anwendung von genügend empfindlichen Hitzdrahtwattzeigern sehr klein gewählt werden.

Die Frequenzmessung einer Antenne gibt Fig. 102 wieder. Hierbei ist die letztere zweckmäßig an der Erdungsstelle entzweigeschnitten und es ist daselbst die Verbindung mit dem Kontaktrahmen ausgeführt; ferner ist noch in die Erdleitung ein Energieanzeiger geschaltet.

Bezüglich der Verbindungsleitungen mit dem Kontaktrahmen schreibt Ives vor, daß diese möglichst starkdrähtig und kurz gewählt werden sollen, und daß sie so nahe wie möglich aneinandergerückt, bzw. bei Isolation verdrallt sein sollen. Da der Kontaktrahmen ebenfalls stark bemessen ist, soll die zusätzliche Selbstinduktion verschwindend klein sein.

5. Kritik.

Dadurch, daß der Ives-de Forestsche Wellenmesser nur als Sender angewendet werden soll, ist von vornherein sein Anwendungsgebiet wesentlich beschränkt; es muß indessen bemerkt werden, obwohl das bisher in keiner Veröffentlichung zum Ausdruck gelangt ist, daß selbstverständlich der beschriebene geeichte Oszillator ebensogut auch als Empfangs-Wellenmesser angewendet werden könnte. Es ist hierzu nur nötig, die Funkenstrecke durch einen passenden Resonanzindikator zu ersetzen.

In elektrischer Beziehung gilt sinngemäß dasselbe, was für den Rendahlschen Wellenmesser gesagt wurde, denn auch bei diesem Frequenzmesser ist die Kopplung veränderlich. Ferner ist das große Gewicht der beiden Kondensatoren bedenklich, welches einmal die gesamte Anordnung sehr schwer werden läßt, und weshalb beim Transport Massenstöße ganz besonders vermieden werden müssen, und ferner die Beweglichkeit und das Anwendungsgebiet, insbesondere für Montagen, herabsetzt. Auch für die Größenabmessungen

Digitized by Google

des Instrumentes ist das sehr erheblich. Als Hauptvorteil mag der symmetrische, gut eichfähige Aufbau gelten.

6. Literatur.

Ives, I. E.: Electrical World and Engineer Vol. 43, Nr. 23, Juni 1904. p. 1074, „On a new standard of Wave-length". — Prasch, A.: Die Fortschritte auf dem Gebiete der drahtlosen Telegraphie. III. p. 149 ff.

---

12. Das Cymometer von Fleming.

1. Allgemeines.

Das Flemingsche Cymometer (Cymometer oder Kymometer von *κῦμα*, Welle) ist aus der Tendenz entstanden, für die Marconi-Gesellschaft eine definierte, geeichte Meßvorrichtung und damit ein Abstimmungsinstrument zu schaffen.

Mit dem Verkauf und der Verwendung des Flemingschen Cymometers auf Montagen hat die Marconi-Gesellschaft äußerlich mit ihrer Tradition der empirischen Abstimmung der Sende- und Empfangsstationen gebrochen und sich der wissenschaftlich besseren Abstimmungsmethode der deutschen und amerikanischen Gesellschaften angeschlossen.

Als Fleming die Aufgabe in Angriff nahm, einen Frequenzmesser zu konstruieren, war bereits die in elektrischer Beziehung sehr günstige Ausführungsform, nämlich die Veränderung von Kapazität oder Selbsinduktion eines mit einem Stromindikator direkt oder induktiv verbundenen Resonanzkreises, vorweggenommen; neu war hingegen noch außer anderen Möglichkeiten die gleichzeitige Veränderung von Kapazität und Selbstinduktion eines einen Spannungsindikator enthaltenden geeichten Resonanzkreises.

Das Cymometer wird daher im wesentlichen aus einer gleichzeitig veränderlichen Kapazität und Selbstinduktion in Verbindung mit einem Spannungsindikator als Resonanzanzeiger, beispielsweise einer Neonröhre oder einer anderen spektralanalytischen Röhre gebildet. Der von Fleming benutzte variable Kondensator besteht aus zwei oder mehreren teleskopartig ineinander verschiebbaren Röhren mit Zwischendielektrikum; das äußere Rohr, bzw. die Rohrpaare sind mit einem leitenden Bügel verbunden, der auf einer Spule schleift und entsprechend größere oder kleinere Selbstinduktionsbeträge stufenweise (von Windung zu Windung) einschaltet.

Das sich aus diesen Gesichtspunkten ergebende Schaltungs-

Digitized by Google

schema bei Anwendung eines Teleskopkondensators ist in Fig. 103 dargestellt. *a* ist eine (die innere) Kondensatorbelegung, *b* ein Isolator, auf den eine Selbstinduktionsspule *d* aufgewickelt ist. *c* ist die andere Kondensatorbelegung, die auf *b* verschiebbar ist und einen Kontakt *e* besitzt. *f* ist ein leitender Verbindungsbügel, *g* eine Neonröhre.

Dieses Grundschema ist selbstverständlich in verschiedener Weise abänderungsfähig, wie die Fig. 106—112 zeigen.

Von Interesse sind zwei Spulenschaltungen mit direkter oder induktiver Erregung, die Fleming vermutlich auf die Konstruktion des Cymometers geführt haben. Diese Schaltungen sind in den Fig. 104 und 105 dargestellt. Fig. 104 zeigt eine direkt an den erregten Luftleiter angeschlossene Spule[×] mit Schwingungsknoten in der Mitte und an den Enden. *e* ist hier der verschiebbare Bügel, der zweckmäßig geerdet wird.

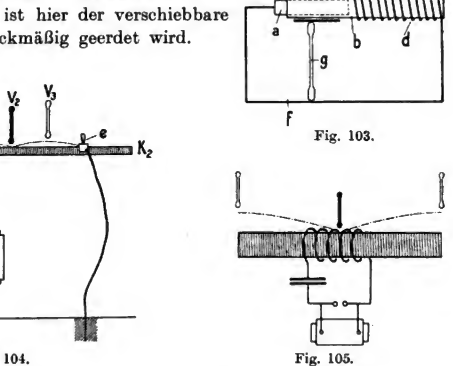


Fig. 103.

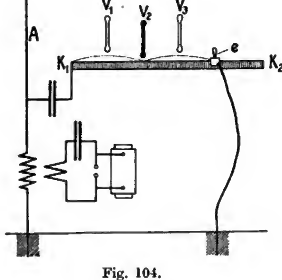


Fig. 104.

Fig. 105.

In Fig. 105 ist eine induktiv erregte Spule mit einem Schwingungsknoten in der Mitte wiedergegeben.

Die Wellenmessung mit derartigen Anordnungen ist selbstverständlich für die Praxis zu umständlich und außerdem nur für die Hand desjenigen geeignet, der mit schnellen Schwingungen zu arbeiten gewohnt ist. Geringe Abänderungen der Anordnung, sowie u. a. Einflüsse der Umgebung rufen leicht beträchtliche Verzerrungen

× Dieser Anordnung ähnlich ist ein vor kurzem bekannt gewordener Wellenmesser von J. Murgas. (Amerikanisches Patent Nr. 848 675 vom 26./1. 1906; siehe Seite 83.)

Digitized by Google

in der Wellenausbildung hervor. Die Beseitigung dieser Mängel und Einflüsse dürfte durch die in den Fig. 110 bis 112 dargestellte Ausführungsform so gut wie vollkommen erreicht sein.

2. Konstruktive Anordnungen.

Das Wesen des Flemingschen Cymometers besteht, wie schon hervorgehoben, in der gleichzeitigen Veränderung eines oder mehrerer Teleskopkondensatoren und einer Selbstinduktion derart, daß mit einer Bewegung gleichzeitig die Selbstinduktion und die Kapazität vermindert oder vergrößert wird. Da sich die Frequenz in einem Schwingungssystem umgekehrt mit der Quadratwurzel aus dem Produkt von Kapazität und Induktanz (Oszillationskonstante) ändert, so variiert damit auch die Wellenlänge.

Der Kondensator besteht aus zwei konzentrischen Metallrohren; als Dielektrikum wird dabei Ebonit oder ein Material gewählt, das sich mit der Frequenz möglichst wenig ändert und eine tunlichst hohe Durchschlagsfestigkeit besitzt.

Bisher sind bereits drei verschiedene Cymometerkonstruktionen bekannt geworden, von denen die letzte neuerdings wiederum einige Änderungen erfahren hat, die insbesondere den Zweck haben, das Cymometer für große Wellenlängen und für Dämpfungsmessungen brauchbar zu machen. Die typischen Cymometerkonstruktionen sind in den Fig. 106 bis 112 wiedergegeben.

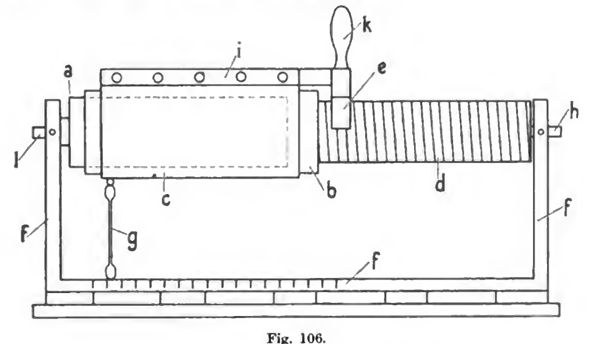


Fig. 106.

Fig. 106 und 107 zeigt eine Anordnung, entsprechend dem Schaltungsschema in Fig. 103, bei welcher eine Kapazitätsbelegung *a* und

Digitized by Google

die Spulenselbstinduktion *d* fest sind und die andere Kapazitätsbelegung *c* mit einem Kontakt *e* verschoben werden kann. In dem Ebonitrohre *b* liegt ein Messingrohr *a*, das aus dem Isolationsrohre *b* links etwas herausragt. Rechts ist *b* auf einen kleineren Durchmesser abgedreht und mit einer fortlaufenden Wicklung aus starkem, nicht isoliertem Kupferdraht bewickelt. Die Kupferwicklung wird zweckmäßig in offenen Windungen von 0,3—0,6 cm Ganghöhe ausgeführt; das rechte, nicht mit einer Kondensatorbelegung verbundene Ende des Drahtes *d* ist an einen Metallstift *h* angeschlossen, der in der Stirnfläche des abgesetzten Rohres *b* sitzt, während das andere Drahtende isoliert ist, wobei *h* mit dem Bügel *f* leitend verbunden ist. Auf dem Ebonitrohre *b* ist ein zweites Messingrohr *c* verschiebbar angeordnet. Dieses Rohr ist mit einer Schiene *i* mit Kontaktbügel *e* und Ebonithandgriff *k* verbunden derart, daß mittels des Handgriffes *k* leicht *c* auf *b* verschoben werden kann, wobei jedoch der Bügel *e* stets guten elektrischen Kontakt mit dem blanken Kupferdraht *d* auf dem Rohre *b* macht.

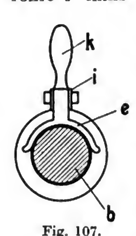


Fig. 107.

In Fig. 107 ist der Isolierkörper *b* geschnitten. Auf den Windungen schleift der Kontakt *e*.

In der inneren Kondensatorbelegung *a* ist ebenfalls ein Stift *l* vorgesehen. Beide Stifte *h* und *l* sind durch einen starken Kupferrahmen *f* miteinander verbunden, welcher unten Teilungen besitzt. An das Rohr *c* ist eine Neonröhre *g* angehängt, so daß deren herunterhängende Spitze als Zeiger eine Teilung bestreicht. Wie ersichtlich, stellt die Vorrichtung einen Kondensator in Reihe mit einer Selbstinduktion dar. Führt man den Handgriff *k* über die spiralig gewundene Selbstinduktion nach rechts, so wird damit die Induktanz des Stromkreises und die von den beiden Metallzylindern *a* und *c* gebildete Kapazität vermindert.

Was die Bemessung des Instrumentes anbelangt, so hat sich zum Messen von Wellenlängen bis 600 m ein Instrument mit folgenden Maßen bewährt:

Das Ebonitrohr *b* besaß einen Durchmesser von 10 cm bei etwa 0,25 cm Wandstärke und 100 cm Länge. Das äußere Messingrohr *c* war ca. 75 cm lang, und der Teil des Ebonitrohres *b*, welcher die Spule *d* trägt, war so lang bemessen, daß es um ca. 75 cm frei aus dem Rohr *b* hervorstand. Das Messingrohr *c* war durch Umlegen eines Messingbleches über den Umfang des äußeren Ebonit-

Digitized by Google

rohres und Verbinden der Blechkanten mittels Schrauben oder dergleichen auf der Messingschiene *i* hergestellt, wobei man dem Rohre *c* durch Anziehen der Schrauben den erforderlichen sicheren Sitz auf dem Rohre *b* geben konnte, so zwar, daß es glatt auf dem Ebonitrohre *b* passend saß und sich trotzdem leicht darauf verschieben ließ. Ebenso glatt muß das innere Messingrohr *a* im Rohre *b* sitzen und daraus etwa 2,5 cm hervorragen. Der Kupfer-

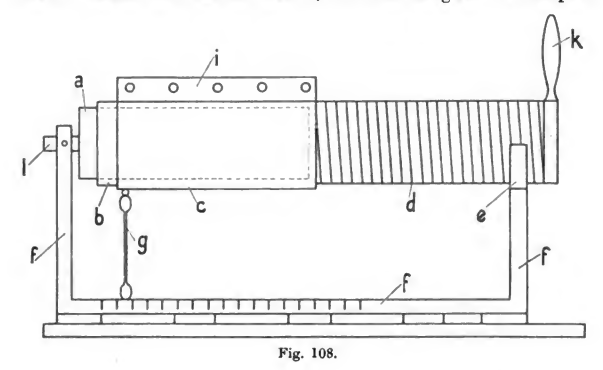


Fig. 108.

rahmen *f* wurde aus einem Kupferstreifen von 2,5 cm Breite und 0,35 cm Stärke hergestellt.

Bei der Ausführungsform nach den Fig. 108 und 109 ist das äußere Messingrohr *c* ortfest und das innere Rohr *a* verschiebbar angeordnet. Hierbei besaß das Ebonitrohr *b* 125—140 cm Länge bei ca. 10 cm äußerem Durchmesser; die übrigen Maße entsprechen ungefähr den zu den Fig. 106 und 107 gehörenden. Die Selbstinduktion besteht aus blankem Kupferdraht mit einer Ganghöhe von 0,3—0,6 cm. Vorteilhaft ist der Draht *d* in eine auf dem Umfange des Rohres eingeschnittene Schraubengangrinne eingelegt. Hierbei ist ein Ende des Drahtes mit der äußeren Kondensatorbelegung *c*, das andere mit dem Kontaktbügel *e* verbunden. Ferner besitzt *d* einen Ebonithandgriff *k*, um eine Verschiebung herbeizuführen. Das Messingrohr *a* ist in das Ebonitrohr *b* dicht eingesetzt, derart, daß letzteres leicht gegen ersteres

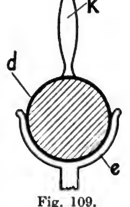


Fig. 109.

Digitized by Google

verschoben werden kann. Der Rahmen *f* endet bei *e* in einem Kontaktbügel, auf dem das Rohr *d* ruht. Mittels des Handgriffes *k* läßt sich der Ebonitzylinder *b* mehr oder weniger weit von *a* abziehen, wobei der wirksame Teil der Induktanz *d* im Stromkreise verkleinert wird. Hierdurch werden also Kapazität und Induktanz des Schwingungssystems gleichzeitig herabgesetzt.

Die Vakuumröhre *g* besteht, wie auch in der Spektralanalyse gebräuchlich, aus zwei durch ein Kapillarrohr verbundenen Kugelkammern. Vorteilhaft ist die Röhre aus Uranglas geblasen und mit verdünntem Kohlendioxyd oder besser mit Neon gefüllt. Die Röhre ist an das Metallrohr *c* (bei den bisher genannten Ausführungsformen des Instrumentes) angeschlossen und wird daher mit demselben bewegt.

Eine dritte, lebensfähigere Ausführungsform des Cymometers ist in Fig. 110 und 111 in Grund- und Aufriß dargestellt. Es ist, wenn man

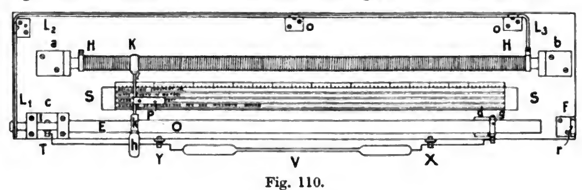


Fig. 110.

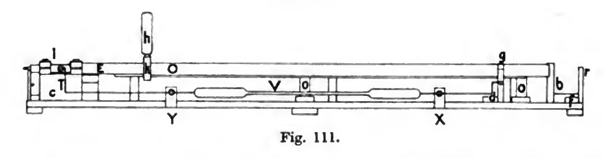


Fig. 111.

die Fig. 106—109 betrachtet, ohne weiteres klar, daß bei den gewählten Dimensionen selbst schon mittlere Wellenlängen Abmessungen ergeben, die über das praktisch Brauchbare weit hinausgehen. Aus diesem Grunde hat neuerdings Fleming, bzw. die Marconi-Gesellschaft die Selbstinduktion und Kapazität nicht mehr in einer fortlaufenden Achse angeordnet, sondern, wie Fig. 110 bis 112 zeigen, nebeneinander montiert und vorn vor die gesamte Anordnung den Resonanzindikator gelegt. Die Variation erfolgt auch hierbei mit einem Handgriff *h k*, welcher gleichzeitig den Teleskopkondensator *E* und die Selbstinduktion *H* betätigt. Die Schaltung ist hierbei

Digitized by Google

wieder so getroffen, daß bei der Stellung links (in den Fig. 110 bis 112) des Handgriffes die gesamte Induktanz und Kapazität eingeschaltet sind (Stellung der größten Wellenlänge), und daß die Wellenlänge stetig verkleinert wird mit dem Verschieben des Handgriffes *h k* nach rechts. Bei einer Stellung wird die Abgleichung so sein, daß das tote, nicht abgeschaltete Ende der Spule *H* stark mitschwingt und einen erheblichen Energiebetrag verzehrt.

Die Bedeutung der einzelnen Teile der Fig. 110 und 111 dürfte nach dem oben Auseinandergesetzten ohne weiteres klar sein. $L_1 L_2 L_3$ ist der Verbindungsbügel, der gleichzeitig zur Kopplung benutzt wird. *V* ist eine spektralanalytische Röhre mit möglichst geringer Dämpfung. *S* ist eine Skala, die vom Zeiger *P* des Handgriffes *h k* bestrichen wird. Die Skala ist geeicht in Werten der Oszillationskonstanten $\sqrt{CL}$, in Wellenlängen in Metern, in Wellenlängen in Fuß und in Schwingungszahlen pro $^1/_{1\,000\,000}$ Sekunde (Frequenzen).

Fig. 112 zeigt eine photographisch aufgenommene Ansicht des Cymometers, wie es von der Marconi Wireless Telegraph Company in den Handel gebracht wird. Die gesamte Anordnung ist in einem flachen Holzkasten eingeschlossen, der nicht allzu schwer transportabel sein dürfte. Die Neonröhre ist in der Fig. 112 fortgelassen.

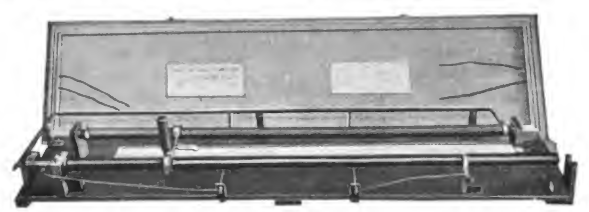


Fig. 112.

Die Abmessungen sind hierbei folgende:

Auf einem Mahagonibrette von ungefähr 136 cm Länge, 30 cm Breite und 15 cm Höhe ist die Selbstinduktionsspule *H* befestigt. Diese besteht aus einer Hartgummiröhre von 109 cm Länge und 3 cm Durchmesser mit eingedrehter Rille, in welcher ein blanker Kupferdraht von 1,22 mm ϕ aufgewickelt ist. Das eine Ende ist, wie aus der Zeichnung 110 ersichtlich, mit dem Kondensator *O* verbunden. Parallel zu der Spule ist ein Teleskopkondensator angeordnet, welcher aus einer Hartgummiröhre *J* besteht, die fest montiert ist. Diese hat eine Länge von 104 cm bei einem Durch-

Digitized by Google

messer von 2,5 cm. Über dieselbe ist eine dünne Hartgummiröhre E geschoben mit einem Durchmesser von 1,6 cm, welche sich auf eine Länge von 5 cm über die innere Belegung hinaus erstreckt. Über diese Röhre gleitet eine zweite Hartgummiröhre O von 100 cm Länge und 3,05 cm äußerem Durchmesser, welche in der dargestellten Weise mit einem Handgriff KH verbunden ist.

Neuerdings hat Fleming die Cymometerkonstruktion wiederum abgeändert, indem er für größere Wellenlängen mehrere Teleskopkondensatoren parallel schaltet, und wobei Skala und spektralanalytische Röhre hinter der variablen Selbstinduktion angebracht wurden. Eine diesbezügliche Ausführungsform mit Thermoelement und Galvanometer zur Dämpfungsmessung ist im Abschnitt Dämpfungsmesser von Fleming wiedergegeben.

Für einen Bereich von 33 m bis 3000 m Wellenlänge baut nunmehr die Marconi-Gesellschaft folgende vier Typen:

Type 1 von 33—700 m Wellenlänge mit einem Kondensator ergibt eine Oszillationskonstante von 1—18.

Type 2 bis 1400 m Wellenlänge mit zwei Kondensatoren ergibt eine Oszillationskonstante von 2—25.

Type 3 bis 2000 m Wellenlänge mit vier Kondensatoren ergibt eine Oszillationskonstante von 3—37.

Type 4 bis 3000 m Wellenlänge mit vier Kondensatoren ergibt eine Oszillationskonstante von 4—50.

3. Theorie.

Die Resonanz eines Schwingungssystems auf ein anderes hängt ab von $\sqrt{CL}$. Fleming schlägt daher vor, diesen Ausdruck „Oszillationskonstante“ zu benennen und mit „Oszillationszahl“ die Schwingungszahl in 2π Sekunden oder in $2\pi\nu$ Sekunden zu bezeichnen.

Sobald die Oszillationskonstante zweier Schwingungskreise übereinstimmt, besteht Resonanz. Dieser Zustand kommt in einem Indikator zum Ausdruck, welcher beim Cymometer aus einer spektralanalytischen Röhre gebildet wird. Diese hat gegenüber Hitzdrahtinstrumenten neben dem Nachteil, nicht quantitativ zu arbeiten, auch einige Vorteile, insbesondere den der geringeren Dämpfung. Da ferner der Wurzelwert aus Kapazität und Selbstinduktion nicht nur von der Maximalamplitude und dem logarithmischen Dämpfungsdekrement der Schwingungen abhängt, sondern von einer gewissen Anzahl von Schwingungen in der Zeiteinheit, so können in die ermittelten Werte des Hitzdrahtinstrumentes bei

Digitized by Google

Unregelmäßigkeiten in der Funkenstrecke des Senders Unschärfen und Fehler hineinkommen, was bei luftverdünnten Röhren selbstverständlich nicht der Fall ist. Ferner kann man, da Neonröhren sehr empfindlich sind, das Cymometer sehr lose mit dem betreffenden zu messenden System koppeln.

Die Theorie des Cymometers, entsprechend den Fig. 106—112, ist in Übereinstimmung mit den früheren für den geschlossenen Schwingungskreis aufgestellten Ausdrücken. Die Kapazität wird am besten gemessen, während für die Berechnung der Selbstinduktion die Formel

$$L = (\pi D N)^2 . l$$

benutzt wird, wo D den Durchmesser der Spule, N die Windungszahl pro 1 cm Länge und l die Spulenlänge ist.

Von Interesse sind die grundlegenden, sich im wesentlichen auf Fig. 104 beziehenden Betrachtungen:

Die Schwingungen des Luftleiters A werden auf die Spule $K_1 K_2$ übertragen und rufen in der Spule Wellen hervor, welche die Spulenwindungen mit einer gewissen Geschwindigkeit durchlaufen und am Sattel e reflektiert werden. Wenn sich der Sattel e in einer derartigen Stellung befindet, daß der Abstand K_1 von e $= \frac{1}{4}$ Wellenlänge ist, leuchtet eine über die Spule gehaltene Vakuumröhre auf in den Stellungen V_1 und V_3, sie bleibt hingegen dunkel in der Stellung des Schwingungsknotens V_2. Die Stellung V_2 bezeichnet $\frac{1}{2}$ Wellenlänge, V_1 und V_3 sind $\frac{1}{4}$ und $\frac{3}{4}$ Wellenlängen. Wenn man nun den Sattel e in eine andere Stellung verschiebt, welche nicht genau gleich einer Wellenlänge oder einem Vielfachen derselben ist, so findet man keine ausgesprochen gleichmäßige Wellenverteilung und eine über die Spule gehaltene Vakuumröhre leuchtet nicht sehr hell unregelmäßig an verschiedenen Stellen auf. Es ist also mit einer derartigen Spule unter Verwendung einer Vakuumröhre möglich, Wellen festzustellen, wenn die Spule genügend lang ist (etwa 1—3 m bei umsponnenem Kupferdraht von $\frac{1}{2}$ mm Durchmesser und einem Spulendurchmesser von 3—4 cm); man kann den Sattel so weit nach rechts verschieben, daß der Abstand K_1 von e genau gleich einer Wellenlänge ist, entsprechend der Frequenz des Senders.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die elektrische Störung sich längs der Spule $K_1 K_2$ fortpflanzt, wird bestimmt durch den reziproken Wert der Quadratwurzel aus dem Produkt der Kapazität und der Selbstinduktion, bezogen auf die Längeneinheit der Spule nach der Formel

Digitized by Google

$$v = \frac{1}{\sqrt{CL}}$$

Hierbei kann die Kapazität pro Längeneinheit der Spule (unter Berücksichtigung der Erde) und die Selbstinduktion pro Längeneinheit durch bekannte Methoden ermittelt werden. Wenn man also die Spulenwellenlänge bestimmt hat und die Frequenz mit ν bezeichnet, hat man den Ausdruck

$$v = \nu\lambda = \frac{1}{\sqrt{CL}};$$

man kann somit die Frequenz der Spule bestimmen und hat daher auch die Frequenz des Luftleiters A.

Wenn A die Länge der Welle ist, welche vom Luftleiter ausgesandt wird, ist A gleich der Lichtgeschwindigkeit dividiert durch die Schwingungsfrequenz.

Da nun die Geschwindigkeit 3×10^{10} cm in der Sekunde (oder 1000000 Fuß per Sekunde) ist, gilt für die Wellenlänge des Senders nachstehender Ausdruck:

$$A = 3000000\,\lambda\sqrt{CL}^{\text{km}}$$

worin A die beobachtete Spulenwellenlänge ist, C und L die berechneten Werte sind. Damit keine direkte Beeinflussung der Spulen durch die Luftleiter stattfindet, ist es im allgemeinen notwendig, einen Metallschirm zwischen den Luftleiter und die Spule zu setzen.

Ferner gelten folgende Beziehungen:

Wellenlänge in Fuß $= 198{,}6 \times$ der Oszillationskonstanten,
Wellenlänge in Metern $= 59{,}6 \times$ der Oszillationskonstanten.

4. Anwendung.

Die Bestimmung der Kapazitäts-, bzw. Selbstinduktionswerte des Cymometers erfolgt rechnerisch oder durch Versuche. Je nach der Größe und den Abmessungen der ausgeführten Cymometer schwankt die Oszillationskonstante zwischen 1 und 50.

Die beschriebenen Ausführungsformen des Cymometers gestatten eine sofortige Messung dieser Konstanten.

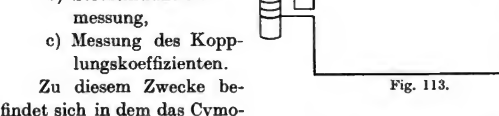
Angenommen, ein Luftleiter einer Sendestation für Strahlentelegraphie (s. Fig. 104) sendet Wellen aus, und es soll die Wellenlänge bestimmt werden. Zu diesem Zwecke bringt man einen Teil des Luftleiters in parallele Lage zum Rahmenstück $L_2 L_3$ (Fig. 110) des Instruments und bewegt, während der Sender in Tätigkeit

Digitized by Google

ist, den Handgriff h hin und zurück über die Kupferdrahtwicklung, bis eine Stelle gefunden wird, bei der die Vakuumröhre V hell aufleuchtet. Sobald dies der Fall ist, stimmt die Oszillationskonstante des Instrumentes mit der des Luftleiters überein, und deren Wert kann an der Skala des Instruments abgelesen werden, vorausgesetzt, daß die Konstante im Bereich der Meßweite des Instruments liegt. Auf diese Weise wird bei einem Vorgehen zugleich die Frequenz der Schwingungen und die Länge der vom Erreger ausgesandten Wellen gemessen.

Mit dem Cymometer können ferner folgende Messungen ausgeführt werden:

a) Kapazitätsmessung,
b) Selbstinduktionsmessung,
c) Messung des Kopplungskoeffizienten.


Fig. 113.

Zu diesem Zwecke befindet sich in dem das Cymometer enthaltenden Kasten eine rechtwinklig gebogene Selbstinduktion, welche an zwei Stellen unterteilt ist, wie Fig. 113 zeigt.

a. Kapazitätsmessung.

Angenommen, man wünscht die Kapazität einer kleinen Leydener Flasche zu bestimmen, dann verbindet man die Belegungen der Leydener Flasche mit den betreffenden Enden des Selbstinduktionsnormals (Fig. 113) und die betreffenden anderen Enden des Normals mit einer Funkenstrecke und einem Induktor. Darauf stellt man das Cymometer mit seiner Kupferschiene nahe und parallel zu einer Längsseite des Rechtecks auf und ruft in dem geschlossenen Schwingungssystem Oszillationen hervor. Alsdann wird das Cymometer verstellt, so lange, bis die Vakuumröhre maximal aufleuchtet. Der dazu gehörende Wert wird auf der Skala abgelesen. Man kennt somit die Oszillationskonstante des Leydener Flaschenkreises.

Der Hochfrequenzselbstinduktionswert des Rechteckes ist ein für allemal bestimmt; wenn man daher diesen Wert z. B. L_1 cm und die Kapazität der Flasche C_1 MF benennt, und die am Cymometer abgelesene Oszillationskonstante O_1 beträgt, so hat man

$$C_1 = \frac{O_1^2}{L_1}$$

Der Wert der Selbstinduktion des Rechteckes kann durch folgende Formel ausgedrückt werden:

Digitized by Google

$$L_1 = 4\left[(S+S')\log\frac{4SS'}{d} - S\log\left(S+\sqrt{S^2+S'^2}\right)\right.$$
$$\left. - S'\log\left(S'+\sqrt{S^2+S'^2}\right) + 2\sqrt{S^2+S'^2} - 2(S+S')\right]$$

wo S und S' die Längen der beiden Seiten des Rechteckes und d den Durchmesser des Kupferdrahtes, aus dem die Selbstinduktion hergestellt ist, bezeichnen. Zu dieser Formel kommen noch gewisse Korrektionen durch die Zuführungsleitungen, welche möglichst kurz zu bemessen sind. Für die Längeneinheit beträgt die Selbstinduktion der parallelen Zuführungsdrähte

$$L' = 4\,l\left(ln\frac{2D}{d}\right)$$

Die gesamte Selbstinduktion setzt sich daher zusammen aus $L_1 + 2L'$ (L nach beiden Seiten genommen). Man kann somit aus obiger Formel für C_1 ohne weiteres die Kapazität der Flaschen bestimmen.

b. Selbstinduktionsmessung.

Wenn man die Selbstinduktion eines kurzen Drahtes, beispielsweise einer oder zweier Kupferdrahtwindungen, bestimmen will, geht man wie folgt vor:

Man schaltet die Kupferdrahtwindungen in Reihe mit rechtwinkligen Bügeln *abcd* unter Benutzung eines Kondensators bestimmter Frequenz und benutzt das Cymometer, wie oben beschrieben. Wenn L_2 die Selbstinduktion der Kupferdrahtwindungen und L_1 die Selbstinduktion des Rechteckes ist und O_1 die zu L_1 und O_2 die zu L_2 gehörende Oszillationskonstante ist, dann hat man folgende Ausdrücke:

$$O_1^2 = CL_1$$
$$O_2^2 = C(L_1 + L_2)$$
$$L_2 = \frac{O_2^2 - O_1^2}{C}$$

c. Messung des Kopplungskoeffizienten.

Zur Bestimmung des Kopplungskoeffizienten eines eisenlosen Transformators, wie er in der Strahlentelegraphie gebraucht wird, verfährt man wie folgt:

Angenommen, man hat die Selbstinduktion des primären Schwingungskreises L bestimmt, ebenso wie die Selbstinduktion des sekundären Schwingungskreises N und die gegenseitige Induktion M, dann wird der Ausdruck

Digitized by Google

$$\frac{M}{L \cdot N}$$

der „Kopplungskoeffizient“ genannt.

Wenn man die zwei Schwingungskreise zu einem Kreise vereinigt, so daß sie sich in ihrer Wirkung entweder verstärken oder schwächen, so hat man für diese beiden Fälle folgende zwei Ausdrücke:

Bei Verstärkung: $L + 2M + N$
und bei Schwächung: $L - 2M + N$

Wenn man daher nach obiger Methode die effektiven Selbstinduktionen der Kreise bestimmt und dieselben L_1 und L_2 nennt, hat man folgende Ausdrücke:

$$L_1 = L + 2M + N$$
$$L_2 = L - 2M + N$$

Ferner:

$$M = \frac{L_1 - L_2}{4}$$

$$LN = \frac{L_1 + L_2}{2}$$

Man kann den größeren der beiden Beträge L oder N bestimmen und damit den Kopplungskoeffizienten finden.

5. Kritik.

Vorteile.

Die Dämpfung ist für den gesamten Ablesungsbereich nahezu konstant und verhältnismäßig gering. Es sind ferner durch Anwendung einer Neonröhre sehr lose Kopplungen und daher große Abstimmschärfen möglich, was weiterhin die Annehmlichkeit einer geringen Rückwirkung zur Folge hat. Das Instrument ist leicht herzustellen und daher billig. Die Bedienung des Instruments ist einfach, alle Teile sind übersichtlich angeordnet.

Nachteile.

Die Selbstinduktion besteht aus ziemlich dickem Draht von großer Länge und großer Ganghöhe. Die Schaltung ist nun so getroffen, daß der Kondensator im allgemeinen im Strombauche der sich an der Spule ausbildenden Schwingungen liegt. Für derartige Fälle gilt die angenäherte Beziehung

$$4\frac{c_1}{c} = \frac{\lambda}{4l} \cdot tg\frac{\pi l}{\lambda}$$

Digitized by Google

wo c_1 die Kapazität des Kondensators, c die Gesamtkapazität und l die Spulenlänge bezeichnet. Hieraus geht hervor, daß der Einfluß um so mehr ins Gewicht fällt, je kleiner die Spulenkapazität in bezug auf die Kondensatorkapazität ist. Mithin dürfte schon aus diesem Grunde das Cymometer eine gewisse Ungenauigkeit besitzen, da eine Änderung der Frequenz bei den verschiedenen Stellungen an die jeweiligen Kapazitätsverhältnisse der Spulen gebunden ist.

Ein anderer Nachteil besteht darin, daß das tote Spulenende nicht abgeschaltet werden kann, sondern stets mehr oder weniger mitschwingt und Energie verzehrt. Da die Kopplung hierbei ziemlich fest ist, sind nur ganz links in Fig. 110 und 112 richtige Werte zu erwarten. Infolge seiner großen Länge ist das Cymometer ziemlich unhandlich und dürfte schwer transportabel sein.

Mit den meisten anderen Wellenmessern hat das Flemingsche Cymometer den Übelstand der nicht konstanten Kopplung und Dämpfung gemeinsam. Ersterer dürfte allerdings beim Cymometer infolge der gewählten Abmessungen des Kondensators verhältnismäßig nicht allzu störend zur Geltung kommen.

Man kann ferner mit dem Cymometer, solange die Neon- oder eine andere spektralanalytische Röhre angewendet wird, nicht eine ganze Resonanzkurve aufnehmen, sondern findet nur das Resonanzmaximum.

Der Teleskop-Kondensator ist in elektrischer und mechanischer Beziehung ungünstig, da er bei Anwendung von Hartgummi als Isolationsmaterial verhältnismäßig stark dämpft und sich leicht verzieht und dann keine bequeme Bedienung mehr möglich ist.

Der Hauptnachteil des Cymometers dürfte jedoch darin beruhen, daß für einen Meßbereich von 33 m bis 3000 m vier verschiedene Instrumente erforderlich sind.

6. Literatur.

Fleming: Phil. Mag. Oktober 1904. (On the propagation of electric waves along Spiral Wires and on an appliance for Measuring the Length of Waves used in Wireless Telegraphy.) — Fleming: Proc. of the Roy. Soc. Vol. 74, Nr. 505, p. 488. 16./3. 1905. (On an Instrument for the Measurement of the Length of electric Waves and also small inductances and capacities.) — Fleming: Phil. Mag. 1905. Ser. 6. Vol. 9, p. 758, auch Proc. Roy. Soc. 1905. Vol. XIX, p. 603 (The application of the Cymometer to the Determination of the coefficient of coupling of Oscillation Transformer.) — Fleming: The principles of Electric Wave Telegraphy. London 1906, p. 404. — Dyke, G. B.: Phil. Mag. May 1906. (On the Use of the Cymometer for the Determination of resonance curves.)

Digitized by Google

7. Patente.

Brit. Pat. 13726/04: „Improvements in Apparatus employed in Measuring Wave Lengths in Wireless Telegraphy." Erteilt am 17./6. 04.

Brit. Pat. 24850/04: „Improvements in Instruments for Detecting and Measuring Alternating electr. currents." Erteilt am 16./11. 04.

Brit. Pat. 27683/04: „Improvements in Instruments for the Measurements of Wave Lengths in Wireless Telegraphy." Erteilt am 19./12. 1904.

Amerik. Pat. 804190: „Instrument for making electrical measurements" J. A. Fleming; angemeldet am 8./2. 05; erteilt am 7./11. 05.

Amerik. Pat. 804189: „Apparatus for measuring the length of electric waves." J. A. Fleming. Angemeldet am 8./2. 05; erteilt am 7./11. 05.

D. R.-P. 176403: „Instrument zum Messen der Wellenlänge elektrischer Wellen." Marconi's Wireless Telegraph Co. Ltd. Angemeldet am 8./2. 05. Erteilt am 10./9. 06.

---

13. Kommerzieller Wellenmesser der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie.

1. Allgemeines. Schaltungsschema.

Trotz seiner Vorzüge besitzt der Franke-Dönitzsche Wellenmesser einige bereits gekennzeichnete Nachteile, von denen der hauptsächlichste wohl neben dem großen Gewicht und der modernen Anforderungen nicht genügend entsprechenden Betriebsbereitschaft der hohe Preis ist. Letzterer wird im wesentlichen durch den sehr sorgfältig herzustellenden großen Plattenkondensator bedingt. Der große Plattenkondensator ist aber selbst für große Wellenlängen nicht unbedingt erforderlich, denn es ist durch richtige Wahl der Spulendimensionen selbstverständlich möglich, selbst für verhältnismäßig kleine Frequenzen die Kapazität klein und die Selbstinduktion groß zu bemessen. Die Genauigkeit und Empfindlichkeit eines solchen Meßkreises dürfte bei genügender Berücksichtigung der Spulenkapazitäten und Spulenformgebung nicht wesentlich hinter derjenigen eines Systems nach der Ausführungsform eines Franke-Dönitzschen Wellenmessers zurückstehen. Hingegen ist ein kleiner Drehkondensator wesentlich leichter und billiger herzustellen, als ein solcher mit großen Platten, während es für die Herstellungskosten einer Spule nicht viel ausmacht, ob diese 6 oder 15 Windungen aufweist. Überdies werden für die bisher meist ausgeführten normalen Stationen nur Wellenlängen von etwa 200—1000 m gebraucht, also ein Intervall, das bequem mit Spulen mit wenigen Windungen erreicht werden kann, wobei die Zwischen-

Digitized by Google

regulierungsbereiche in derselben Art wie beim Franke-Dönitzschen Wellenmesser durch den variablen Kondensator beherrscht werden.

Die vorstehend genannten Gesichtspunkte der kleinen und mittleren Wellenlängen und daher kleinen Abmessungen und des geringen Gewichtes ermöglichen eine billige Herstellung des Kondensators und der Spulen. Diese Forderungen waren für die Herstellung des kommerziellen Wellenmessers grundlegend, welcher im Winter 1905/06 entworfen wurde und der prinzipiell mit dem Franke-Dönitzschen Wellenmesser identisch ist und daher auch wie dieser in elektrischer Beziehung den Übelstand der inkonstanten Dämpfung besitzt. Um die Herstellungs- und Vertriebskosten besonders niedrig zu halten, wird als Resonanzindikator nicht ein Hitzdrahtinstrument, sondern eine luftverdünnte Röhre, beispielsweise eine Heliumröhre benutzt. Diese hat bei ihrer Wohlfeilheit den Vorzug, in elektrischer Beziehung sehr wenig zu dämpfen. Die Aufnahme einer ganzen Resonanzkurve ist allerdings hiermit nicht möglich, indessen gelingt es, was für die meisten Zwecke vollständig ausreicht, das Resonanzmaximum und somit die Wellenlänge, insbesondere bei loser Kopplung, scharf festzustellen.

Da nun der kommerzielle Wellenmesser nicht nur als Meßresonanzkreis, sondern auch als System zur Erzeugung von Schwingungen bestimmter Frequenz benutzt werden soll, ist die Heliumröhre abschaltbar gemacht und die Anordnung so getroffen, daß an Stelle der Heliumröhre eine kleine Funkenstrecke eingeschaltet werden kann.

Fig. 114a.

Fig. 114b.

Die Fig. 114a zeigt die Vorrichtung in der Schaltung zum Messen von Frequenzen. *a* ist ein Drehkondensator, an dessen Klemmen die Heliumröhre *d* liegt. *b* ist eine Spule, *c* ein Steckkontakt, der mit der Heliumröhre *d* fest verbunden ist; letztere wird nur betätigt wenn der Kontakt *c* gestöpselt ist.

In Fig. 114b ist das Meßsystem zur Erzeugung von Schwingungen bestimmter Frequenz geschaltet. Der Stöpsel *c* und damit die Röhre *d* ist entfernt, und statt dessen ist die stets parallel zum Stöpsel liegende Funkenstrecke *e* in Serie zu *a* und *b* eingeschaltet.

Digitized by Google

2. Konstruktive Ausführung.

Der Kondensator, welcher die betreffende Spule und Heliumröhre oder Funkenstrecke trägt, ist ein Drehkondensator, welcher sich aus 24 + 25 halbkreisförmigen, gegeneinander um dieselbe Achse verstellbaren, in ein Glasgefäß eingebauten Messingplatten zusammensetzt. Die Anfangsmeßstellung des Kondensators bei 0° beträgt etwa 90 cm. Die Kapazität steigt kontinuierlich bis auf 2900 cm bei 180°. Die angegebenen Werte gelten für den lufterfüllten Kondensator. Für Meßzwecke, insbesondere, wenn das Meßsystem als Erreger dienen soll, wird Füllung mit Paraffinöl angewendet.

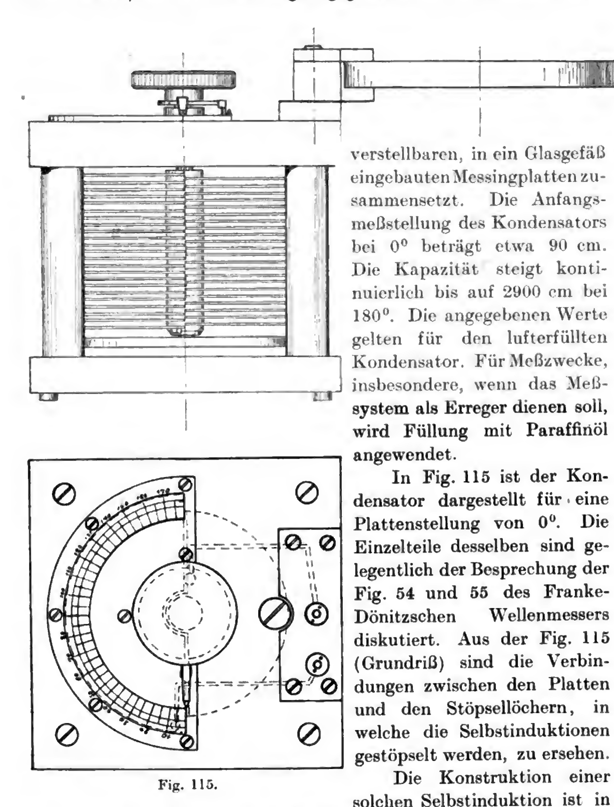


Fig. 115.

In Fig. 115 ist der Kondensator dargestellt für eine Plattenstellung von 0°. Die Einzelteile desselben sind gelegentlich der Besprechung der Fig. 54 und 55 des Franke-Dönitzschen Wellenmessers diskutiert. Aus der Fig. 115 (Grundriß) sind die Verbindungen zwischen den Platten und den Stöpsellöchern, in welche die Selbstinduktionen gestöpselt werden, zu ersehen.

Die Konstruktion einer solchen Selbstinduktion ist in Fig. 116 wiedergegeben. Es sollen drei verschieden groß dimen-

Digitized by Google

sionierte Selbstinduktionsringe zur Anwendung gelangen, und zwar mit folgenden Meßbereichen:

Ring 1 mit einer Wellenlänge von 145—255 m,
Ring 2 mit einer Wellenlänge von 255—550 m,
Ring 3 mit einer Wellenlänge von 520—1120 m.

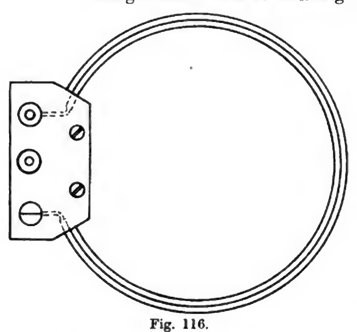


Fig. 116.

Entsprechend den Schaltungen in Fig. 114a und 114b kann der Wellenmesser entweder als Sender oder als Empfänger betrieben werden. Als Sender wird in der gezeichneten Weise zwischen Spule und Kondensator eine kleine Funkenstrecke geschaltet. Als Resonanzindikator wird, wenn der Wellenmesser als Empfänger dient, eine kleine, in einem Kontaktkästchen *f* eingeschlossene Heliumröhre (Fig. 117)[×] verwendet; das Kästchen *f* ist mit einer Kontaktfeder *g* versehen, die mit einer entsprechenden Feder, die auf dem Kondensator montiert ist, in Verbindung gesetzt werden kann. An dieser Kontaktfeder ist an einer Seite die Heliumröhre *d* (Fig. 118) angeschlossen. Andererseits ist letztere mit einem Kontaktstöpsel verbunden, so daß bei Einschaltung des Kästchens die Röhre im Schwingungskreis parallel zum Kondensator liegt.

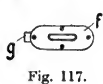


Fig. 117.

d

Fig. 118.

3. Anwendung.

a) Als Sender.

Die Funkenstrecke wird entsprechend Fig. 114b gestöpselt und mit der Hochspannungswicklung eines Induktors verbunden. Bei Ölfüllung des Kondensators soll die maximale Funkenlänge 1 mm betragen, da bei größeren Funkenlängen eventuell direkte Entladungen zwischen den Kondensatorplatten stattfinden. Der Selbst-

× Die Figur ist nicht im Maßstabe von Fig. 115 und 116 wiedergegeben.

Digitized by Google

induktionsring ist entsprechend der Wellenlänge zu wählen. Da seine Größe bekannt ist, und man andererseits den Kapazitätswert für diejenige Kondensatorstellung kennt, bei welcher ein in den Empfänger eingeschalteter Resonanzindikator maximale Wirkung zeigt, weiß man genau, mit welcher Frequenz man erregt hat.

b) Als Empfänger.

Wenn die Wellenlänge eines Schwingungskreises bestimmt werden soll, wird der jetzt mit einer Heliumröhre versehene Wellenmesser, auf welchen man einen Ring, der schätzungsweise der betreffenden Wellenlänge entspricht, aufgesetzt hat, mit dem zu messenden System möglichst fest gekoppelt, so daß in weitem Bereich die Heliumröhre anspricht. Darauf wird die Kopplung durch Entfernung des Meßkreises gelockert, bis das Aufleuchten der Heliumröhre nur bei einer ganz bestimmten Kondensatorstellung stattfindet und verschwindet, sobald der Kondensator etwas verstellt wird.

Je loser die Kopplung ist, um so größer ist auch hier die Genauigkeit.

Heliumröhren, welche gar nicht oder nur schwer aufleuchten, besitzen im allgemeinen schlechte Kontakte. Wenn diese gut sind und die Röhre trotzdem schwer anspricht, wird sie am besten in einen direkt erregten Schwingungskreis für kurze Zeit eingeschaltet und dann erst mit dem als Empfänger wirkenden Wellenmesser verbunden.

4. Gebrauchsmusterschutz.

Gebrauchsmuster Nr. 273973 „Vorrichtung zur Bestimmung der Periodenzahl eines elektrischen Schwingungskreises“ (kommerzieller Wellenmesser). Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. Angemeldet 7./2. 1906. Eingetragen 29./3. 1906.

Gebrauchsmuster Nr. 273974 „Vorrichtung zur Erzeugung elektrischer Schwingungen bestimmter Periodenzahl (kommerzieller Wellenmesser)“. Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. Angemeldet 7./2. 1906. Eingetragen 29./3. 1906.

Digitized by Google

14. Die Wellenmeßvorrichtungen von Eisenstein.

Die zunächst zu besprechende Eisensteinsche Methode der Wellenmessung benutzt eine wohl zuerst von Nernst [×] angewandte Brückenschaltung zur Bestimmung von Selbstinduktionskoeffizienten unter Anwendung einer variabelen Kapazität in einem Brückenzweige und einer Glimmlichtoszillographenröhre als Indikator. Die Anordnung kann hierbei je nach Lage der Oszillographenröhre so getroffen werden, daß letztere bei Resonanz maximal aufleuchtet oder dunkel wird.

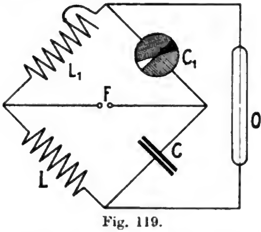


Fig. 119.

Eine die letztere Erscheinung ergebende Schaltung ist in Fig. 119 dargestellt. $C_1 L_1 F$ bezeichnet das geeichte Meßsystem. CLF stellt den zu messenden Kreis dar. L_1 ist variabel und geeicht z. B. in Zentimetern oder auch direkt in Wellenlängen. Desgleichen kann auch der Kondensator C_1, der ebenfalls veränderlich ist, geeicht sein. Diese Größen werden nun so lange verändert, bis die Leuchterscheinung in der Glimmlichtoszillographenröhre verschwindet, d. h. bis keine Potentialdifferenz mehr an den Elektroden der Röhre herrscht. Alsdann besteht Resonanz, und man hat

$$\lambda (C_1 L_1 F) = \lambda (C L F)$$

man kann mithin für bestimmte Werte von C_1 direkt die dazu gehörenden Frequenzen an L_1 ablesen. Man kann die Schaltung auch so treffen, daß die maximale Leuchterscheinung bei Resonanz eintritt, was der Fall ist, wenn die Röhre zwischen L_1 und L angeordnet ist, so daß sie also im Nebenschluß zur Funkenstrecke F liegt.

Als Vorteile der Schaltung kann man anführen, daß es möglich ist, die Kopplung des zu messenden Systems mit dem Meßsystem ziemlich lose zu machen wegen der Empfindlichkeit der Oszillographenröhre, und daß letztere wenigstens bis zu einem gewissen Grade quantitativ arbeitet, indem die Übergänge der Leuchterscheinung bis zum Dunkelwerden kontinuierlich eintreten, so daß man auf den Sinn der Veränderung schließen kann.

Diesen Vorzügen gegenüber besitzt die Anordnung aber den wesentlichen Nachteil, nur ein Arbeiten mit direkter Erregung zu-

× Nernst, Wied. Ann. 60, p. 600. 1897.

Digitized by Google

zulassen. Hierzu kommt noch, daß die Oszillographenröhre stets einer gewissen elektromotorischen Kraft an den Elektroden bedarf.

Schaltung und Anordnung sind Gegenstand des D. R. P. 157251 „Verfahren zur Messung der Wellenlänge eines Thomsonschen Kreises“. Angemeldet 4./10. 1905, erteilt 24./9. 1906.

Neuerdings [×] hat Eisenstein eine andere Vorrichtung zur Messung der Wellenlänge und Bestimmung des Resonanzgrades vorgeschlagen, welche auf der Benutzung eines offenen Resonators, einer Spule nach Art des Slabyschen Multiplikationsstabes, beruht. Der Hauptvorteil dieser Anordnung gegenüber den bisher bekannten soll in dem konstanten Kopplungsgrad bestehen, welcher dadurch erreicht wird, daß die Kapazität des Systems konstant bleibt, bzw. das Verhältnis zwischen Kapazität und Selbstinduktion nicht wesentlich geändert wird. Bis zu einem gewissen Grade wird dieser Vorteil durch den Eisensteinschen Wellenmesser auch erreicht, hingegen bleibt der sehr beträchtliche Nachteil des Spulenwellenmessers, welcher in der Undefiniertheit der Verbindung mit Erde oder Gegengewicht liegt und dadurch eine Verschiedenheit der Wellenausbildung und damit der Eichung und der Dämpfung bewirkt, nach wie vor bestehen.

Die Fig. 120 gibt ein schematisches Bild der Anordnung. Eine mit einem Handgriff *a* versehene Spule *b* ist in isolierten Lagern *c* verschiebbar angeordnet. Auf den Spulenwindungen schleift ein Gleitstift *d*, welcher mit Erde oder mit Gegengewicht verbunden ist. Bei Erregung der Spule wird sich infolgedessen am Gleitstift stets der Strombauch ausbilden. In unmittelbarer Nähe des Gleitstiftes ist über der Spule *b* und isoliert von dieser eine sekundäre Spule *e* beweglich angeordnet, deren Enden z. B. mit einer Glühlampe *f* oder ähnlichen Vorrichtung verbunden sind. Die Lichtstrahlen der letzteren betätigen eine Selenzelle *g*, welche mit einer Stromquelle *h* und einem Anzeigeinstrument *i* einen geschlossenen Kreis bildet.

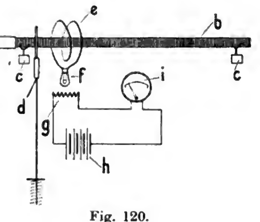


Fig. 120.

Bei der Resonanzlage bildet sich bei *d* der Strombauch aus. Es findet alsdann die maximale Induktionswirkung auf die Spule *e*

× D. R. P. 183808. „Elektrischer Wellenmesser mit Vorrichtung zum Anzeigen des Resonanzgrades.“ Ang. 21. 8. 1906, erteilt 12. 3. 1907.

Digitized by Google

statt. Nach Eisenstein soll diese so groß sein (lose Kopplung!), daß die Glühlampe *f* zum Leuchten kommt und auf die Selenzelle einwirkt, eine Erscheinung, die selbst bei einer niedervoltigen, stark Energie verzehrenden Lampe kaum erreicht werden dürfte.

Die Konstruktion kann naturgemäß auch so getroffen werden, daß Gleitstift und Sekundärspule zu einem Ganzen vereinigt und zusammen bewegt werden. Auf diese Weise bleibt die Anzeigevorrichtung, bzw. die Sekundärspule selbsttätig im Strombauche.

Die sehr komplizierte und praktisch sehr wenig brauchbare Selenzellen-Anordnung wird am besten durch einen direkten Stromindikator, wie z. B. ein Thermoelement, Bolometer oder dgl. ersetzt. Auch können letztere konduktiv statt induktiv mit der Spule *b* gekoppelt werden.

Es ist ferner selbstverständlich, daß, um ein objektives Bild zu erhalten, eine Selenzellen-Glühlampen-Anordnung Verwendung finden kann, die unter Zwischenschaltung eines Diaphragmas auf einen sich bewegenden lichtempfindlichen Papierstreifen einwirkt.

Die Anordnung Eisensteins, welche gegenüber dem Multiplikationsstabe von Slaby den Vorteil der genaueren Einstellbarkeit besitzen soll, hat aber den wesentlichen Nachteil gegenüber der genannten Anordnung, daß sie die Handlichkeit und Billigkeit, welche den Multiplikationsstab vor anderen Wellenmessern auszeichnet, nicht erreicht. Außerdem ist der ins Gewicht fallende Nachteil des Multiplikationsstabes, nämlich, wie bereits erwähnt, die undefinierte Erdung durch die Eisensteinsche Anordnung nicht vermieden.

---

15. Der Frequenzmesser von Nesper.

Der nachstehend beschriebene Frequenzmesser ist aus dem Bestreben hervorgegangen, ein insbesondere für Laboratoriumsmessungen genau definiertes, berechenbares, unveränderliches Meßsystem mit geringer, annähernd konstanter Dämpfung und Kopplung für kleine Wellenlängen zu schaffen.[×]

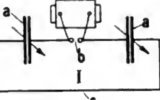
Zu diesem Zwecke wird nicht, wie bei dem von Lodge angegebenen Resonanzsystem und den darauf beruhenden Anordnungen, ein verhältnismäßig unempfindlicher Resonanzindikator benutzt, sondern es findet vielmehr die bisher empfindlichste quantitative Meßvorrichtung der Strahlentelegraphie, nämlich ein Thermoelement

× Erst vor Kurzem lernte ich das Frequenzmeßsystem von Zenneck (s. S. 8), welches das nachstehend beschriebene teilweise vorwegnimmt, kennen. Der Verf.

Digitized by Google

(oder Bolometer) in Verbindung mit einem Galvanometer, Anwendung. Die Anordnung ist folgende:

Ein beliebiger Sender *I* (Fig. 121) besteht aus festen oder veränderlichen Kondensatoren *a*, einer von einem Induktor aus gespeisten Funkenstrecke *b* und einer Drahtselbstinduktion *c*.



Es ist selbstverständlich, daß mit abnehmender Dämpfung des Senders und Empfängers die Meßgenauigkeit steigt. Man kann daher vorteilhaft zu Meß- und eventuell zu Eichzwecken einen Lichtbogensender oder einen solchen, bei dem parallel zum Schwingungssystem ein Unterbrecher liegt, benutzen. Ein letzterer Schaltung teilweise entsprechender ist z. B. durch das D. R. P. Nr. 157056/03 von Eichhorn bekannt geworden. Diese Schaltung besitzt indessen den Übelstand, daß durch Einschaltung einer Spannungsquelle in das Schwingungssystem dieses gedämpft wird, und daß die Dämpfung außerdem noch, je nach Verhalten der Spannungsquelle, variabel ist. Dieser allerdings sehr unbeträchtliche Nachteil kann indessen durch zweckmäßige Lage der Spannungsquelle leicht vermieden werden.

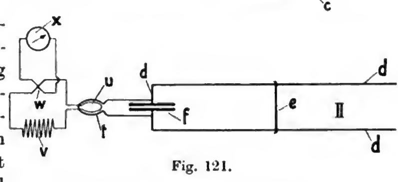


Fig. 121.

Lose gekoppelt mit dem Sender *I* ist der Empfänger *II* aufgestellt. Letzterer besteht aus einem mit verschiebbarer Brücke *e* versehenen Drahtrechteck *d*, das aus versilberten, verdrallten Drähten hergestellt ist, und dessen Selbstinduktionswerte sich durch Rechnung mit großer Annäherung feststellen lassen. Wesentlich ist es, daß bei den geringen im Empfänger vorhandenen Empfangsintensitäten die Brückenenden mit den Drähten *d* guten Kontakt besitzen. Ein einfaches Auflegen der Brücke genügt daher im allgemeinen nicht; es ist vielmehr der in Fig. 122 dargestellte Kontakt vorzuziehen. *e* ist hierbei der Brückendraht, der um größere Wellenlängen zu erzielen durch eine Spule besetzt werden könnte, *d* ein Paralleldraht des Rechtecks; an *e* ist eine federnd geschlitzte Büchse *k* angelötet, die im Innern eine Feder *l* enthält. Letztere preßt den Draht *d* fest an die Büchse *k*

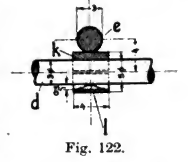


Fig. 122.

Digitized by Google

und sichert damit den Kontakt. Die Ausführung muß derart sein, daß die Büchse mit der Brücke leicht verschiebbar ist.

Die Enden des am offenen Ende durch die Brücke *e* elektrisch geschlossenen Rechtecks *d* sind mit einem oder mehreren variablen oder besser, wenigstens für kleine Wellenlängen, mit einem festen Kondensator *f* verbunden. Man kann bei Wahl des ersteren einen Drehplattenkondensator nach Koepsel benutzen (Fig. 123), bei welchem zu jeder Plattenstellung der Kapazitätswert genau festgestellt ist. Der Drehplatten-Luftkondensator besitzt die Vorteile, nahezu unabhängig von der Frequenz zu sein und (bei der Verwendung von Luft als Dielektrikum) keine Verluste durch Absorption aufzuweisen. Ferner hat man bei seiner Anwendung die Möglichkeit, die Kapazität und damit den Meßbereich zu vergrößern — allerdings unter teilweiser Verzichtleistung auf obige Vorteile —, indem ein Isolator mit höherer Dielektrizitätskonstante als 1 (wie z. B. Wasserglas, Paraffinöl, Petroleum) angewendet wird.



Fig. 123.

Noch zweckmäßiger ist eine Kondensatorausführung, bei welcher zwei fest gegenüberstehende Platten mit abgerundeten Kanten in einem komprimierten Gase oder Luft angeordnet sind, wie es beispielsweise Fig. 124 zeigt. *m* sind die Kondensatorplatten, deren zylindrische Ansätze *n* durch die Wandungen des das Kompressionsgas oder die Luft enthaltenen isolierenden Gefäßes *o* hindurchgeführt sind. *p* ist eine gut verschließbare Öffnung, *r* ein Manometer.

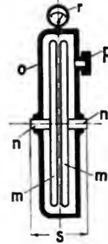


Fig. 124.

Da man mit einem derartigen nicht veränderlichen Kondensator nur einen Kapazitätswert besitzt, müssen für einen größeren Regulierungsbereich eine Anzahl von Kondensatoren mit anderer Kapazität vorhanden sein, die aus Gründen der bequemen Auswechslung alle dieselbe Länge

Digitized by Google

s aufweisen müssen. Bei den angegebenen Dimensionen für d kommt man für kleine Wellenlängen mit zwei Kondensatoren von den unten angegebenen Dimensionen aus.

Mit dem Drahtsystem d (Fig. 124) ist eine Kopplungswindung t[×] verbunden, die auf eine oder zwei Windungen u des Thermoelementkreises induktiv einwirkt. Letzterer enthält außer u noch eine Selbstinduktion v, um eine Unabhängigkeit des Stromeffektes von der Wechselzahl zu bewirken, und ein Thermoelement w. Die freien Enden dieses Thermoelementes nach Klemenčič sind mit einem Galvanometer x verbunden.

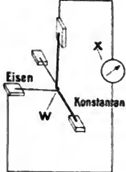


Fig. 125.

Die Anordnung des Thermoelementes geht aus Fig. 125 (schematisch) hervor. Bei dieser Ausführungsform, welche so klein wie nur irgend möglich zu halten ist, ist die Konstanz der Empfindlichkeit sehr groß. Diese wird dadurch erreicht, daß die Drahtzylindermäntel (es kommt vorteilhaft Eisendraht von ca. 0,048 mm ϕ und Konstantandraht von unter 0,05 mm ϕ ohne Lötstelle zur Anwendung) tangierend aneinander vorübergehen, so daß im Gegensatze zu der sonst üblichen Linienberührung nur eine Punktberührung vorhanden ist. Diese Vorrichtung hat außerdem den Vorteil, bei kleinem Ohmschen Widerstande gegen Stöße verhältnismäßig unempfindlich zu sein.

Das System *II* ist vollkommen definiert und in zweifacher Hinsicht veränderlich:

1. kann die Selbstinduktion des Drahtrechteckes verändert werden, und die veränderlichen Beträge können an einer Skala abgelesen werden, welche direkt in Selbstinduktionswerten geeicht werden kann, oder es können die den Skalenteilen entsprechenden Beträge aus einer Tabelle oder Kurve abgelesen werden;
2. kann an der Skala des Drehkondensators, falls ein solcher zur Anwendung gelangt, direkt die betreffende Kapazität, welche der jeweiligen Skalenstellung entspricht, bestimmt werden.

Die Berechnung der Selbstinduktion[××] erfolgt nach folgender Formel:[1]

[×] Die Kopplungswindung darf nicht, wie in der Figur 121 irrtümlich gezeichnet, den Kondensator kurzschließen, sondern muß von zwei rechts in der Zeichnung befindlichen Punkten von d abzweigen.

[××] Für die Berechnung der Tabelle sage ich Herrn Dr. E. Martiny auch an dieser Stelle meinen Dank.


Digitized by Google

$$L = 4\left[a\,ln\frac{2ab}{r(a+\sqrt{a^2+b^2})} + b\,.\,ln\frac{2ab}{r(b+\sqrt{a^2+b^2})}\right.$$
$$\left. + 2(\sqrt{a^2+b^2} - a - b)\right] C\,G\,S$$

Hierin ist a die Breite des Rechtecks = 30 cm
b die Länge des Rechtecks = variabel
r der Drahtradius = 0,3 cm

Bei Einsetzung dieser Werte in obige Formel erhält man folgende Tabelle:×

$b =$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
‖	L	×								
		144	232	288	331	367	398	426	453	479
10	505	529	552	575	597	618	639	660	681	702
20	722	742	762	782	802	822	842	862	882	902
30	922	942	961	980	999	1018	1037	1056	1075	1094
40	1103	1132	1151	1170	1189	1208	1227	1246	1265	1284
50	1303	1322	1340	1358	1377	1395	1414	1432	1451	1469
60	1488	1507	1525	1543	1562	1580	1599	1617	1636	1654
70	1673	1692	1710	1728	1747	1765	1784	1802	1821	1839
80	1858	1876	1895	1913	1332	1950	1969	1987	2006	2024
90	2043	2061	2080	2098	2117	2135	2154	2172	2191	2210
100	2229	2247	2266	2284	2302	2320	2339	2358	2377	2395
110	2414	2432	2450	2469	2487	2506	2524	2543	2561	2580
120	2598	2616	2635	2654	2672	2691	2709	2727	2746	2764
130	2783	2801	2820	2838	2857	2875	2893	2912	2931	2949
140	2968	2986	3004	3023	3041	3060	3078	3097	3115	3134
150	3153	3171	3190	3208	3227	3245	3264	3282	3301	3319
160	3338	3356	3375	3393	3411	3430	3448	3467	3485	3504
170	3522	3541	3559	3578	3596	3614	3633	3652	3670	3688
180	3707	3725	3744	3762	3781	3799	3818	3836	3855	3873
190	3892	3910	3928	3947	3965	3984	4002	4021	4039	4058
200	4075	4094	4112	4131	4149	4168	4186	4205	4223	4242
210	4260	4279	4297	4316	4334	4352	4371	4389	4408	4426
220	4445	4463	4482	4500	4519	4537	4556	4574	4592	4611
230	4629	4647	4665	4684	4702	4720	4739	4757	4776	4794
240	4813	4831	4850	4868	4887	4905	4924	4942	4960	4979
250	×4997									

Für die Berechnung der Kapazität nach Fig. 123 gilt der Ausdruck:

× Die fett gedruckten Zahlen sind berechnet, die anderen Zahlen sind interpoliert.

Digitized by Google

$$C = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}\left\{\frac{r^2}{a} + \frac{r}{\pi}\left[ln\frac{16\pi r(a+d)}{a^2} - 1 + \frac{d}{a} \cdot ln\frac{a+d}{d}\right]\right\}\frac{1}{36} \cdot 10^{-20}\,CGS\,.$$

r = Radius, d = Dicke, a = Abstand, $\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = 1$ für Luft.

Das gibt bei obigen Dimensionen folgende Werte:

Kondensator I hat 100 cm Kapazität, also $\begin{cases}\text{Plattenradius} = 6{,}3\text{ cm}\\ \text{Plattenabstand} = 0{,}1\text{ cm}\end{cases}$

λ von 7,53 m bis 44,3 m.

Kondensator II hat 1000 cm Kapazität, also $\begin{cases}\text{Plattenradius} = 20\text{ cm}\\ \text{Plattenabstand} = 0{,}1\text{ cm}\end{cases}$

λ von 23,85 m bis 140,0 m.

Für größere Wellenlängen werden vorteilhaft Drehkondensatoren verwendet.

Sobald das System II auf I abgestimmt ist, tritt das Maximum des Ausschlages im Galvanometer auf; man kann daher direkt die Wellenlänge von I bestimmen.

Man kann der genannten Einrichtung entgegenhalten, daß die Dämpfung des Erregers und Meßkreises noch verhältnismäßig groß ist infolge des Vorhandenseins des Hauteffektes und durch Wirbelströme. Die dadurch vorhandene Verlustdämpfung kann indessen durch folgende Mittel vermindert werden.

Wirbelströme werden im Maschinenbau bekanntlich dadurch vermieden, daß man die verwandten Metallkörper normal zum induzierten Leiter unterteilt, indem man z. B. die Polschuhe lamelliert, die Polecken abrundet oder abschrägt, um den Wirbelströmen einen großen Widerstand entgegenzusetzen usw. Für Telephonströme spielt der durch Wirbelstromwiderstand entstehende Effektverlust eine bedeutende Rolle. Für diesen gilt nach Dolezalek folgendes Gesetz:

$$R' = R + K\nu^2.$$

Hierin bezeichnet R den Gleichstromwiderstand, K eine Konstante, ν die in Betracht kommende Schwingungszahl, R' den resultierenden scheinbaren Widerstand. Die Widerstandszunahme ist in hohem Maße von der Selbstinduktion und der geometrischen Gestaltung des untersuchten Leiters abhängig. Sie wird vermindert durch Unterteilung des Drahtes in isolierte Einzeldrähte (Azetatdraht und besser noch mit Seide isolierte Drähte). Allerdings ist die Anordnung wegen der kontaktmachenden Brücke e nur teilweise möglich.

In unmittelbarem Zusammenhange mit dem Wirbelstromeffekt steht die Erscheinung der Hautwirkung. Bei den in der Strahlen-

Digitized by Google

telegraphie angewendeten hochfrequenten Wechselströmen ist die Strömungsamplitude an der Oberfläche des Leiters am größten und nimmt nach dem Innern zu kontinuierlich ab. Der Widerstand der Oberfläche ist daher für die Hautwirkung wesentlich. Letztere kann dadurch verkleinert werden, daß man die Oberfläche metallisch rein und gut leitend macht, wie z. B. durch Versilberung oder durch Anwendung von elektrolytisch niedergeschlagenem Kupfer. Da nun die Stromkraftlinien bei Wechselströmen hoher Frequenz immer mehr nach außen drängen und daher nur die außen liegenden Leiterteile von den Kraftlinien geschnitten werden, kann man die Hautwirkung und damit den dämpfenden Widerstand nur dadurch vermindern, daß man den aus Einzeldrähten hergestellten Leiter verdrallt, verklöppelt oder derart verseilt, daß stets neue Leiterteile von den Feldkraftlinien geschnitten werden. Die Ausführung muß so getroffen sein, daß selbst bei kleinen Längen des Leiters sich stets neue Drähte an der Oberfläche befinden.

Literatur.

[1] Wien. M. Wied. Ann. 53. p. 935. [1894]. — [2] Dolezalek. Ann. d. Phys. 12. p. 1142 1903 [Messung von Induktionskoeffizienten].

---

16. Frequenzmeßmethode von Peukert.[1]

1. Verfahren und Anordnung.

Die Methode von Peukert beruht auf der Anwendung der Thomsonschen Stromwage auf Schwingungssysteme.

Thomson hat gezeigt, daß bei übereinander, teils fest, teils frei beweglich angeordneten Spulen beim Stromdurchgang die letzteren eine Bewegung erfahren, die dem Quadrat der durch die Spule fließenden Stromstärke proportional ist.

Von Peukert rührt der Vorschlag her,[2] bei Benutzung einer Anordnung, die etwa Fig. 126 entspricht, durch Wägung Selbstinduktionskoeffizienten von beliebigen Spulen für Niederfrequenzen zu bestimmen.

Neuerdings hat Peukert dieses Verfahren auch auf Frequenzmessungen bei geringen Periodenzahlen ausgedehnt, und es ist, wenigstens bei Berücksichtigung einiger Beschränkungen, nicht ausgeschlossen, daß das Verfahren auch auf schnelle Schwingungen übertragen werden kann.

Digitized by Google

Die Methode ist entsprechend Fig. 126 folgende: *I* ist der primäre Schwingungskreis, dessen Frequenz bestimmt werden soll, *II* ist das Meßsystem.

Der primäre Schwingungskreis setzt sich zusammen aus einem Lichtbogen *a*, einer Kapazität *b* (Luftkondensator) und einer Spule *e*. *d* ist eine beliebige Gleichstrom- oder Wechselstromquelle. In dem System *I* werden ungedämpfte Schwingungen erzeugt, die auf das System *II* einwirken. Dieses besteht aus einer Spule *l*, einem Kondensator *c* und gegebenenfalls einem induktionslosen (elektrolytischen) Widerstand *w*. Die Spule *l*, deren Selbstinduktion bekannt sein muß, ist an einer empfindlichen Wage *g* aufgehängt, derart, daß die Felder von *l* und *e* stets direkt aufeinander einwirken können.

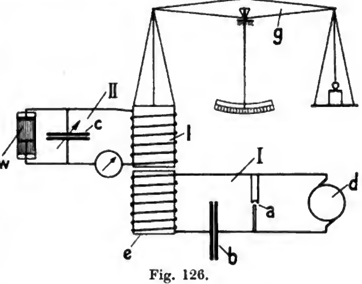


Fig. 126.

Man geht bei der Messung nun so vor, daß bei nicht arbeitendem Schwingungssystem *I* und bei an dem Wagebalken befestigter Spule *l* durch Auflegen von Gewichten das Gleichgewicht der Wage *g* hergestellt wird. Wenn nun das System *I* erregt wird, tritt eine Störung des Gleichgewichtes am Wagenbalken ein, da *l* von *e* abgestoßen wird. Der Kondensator *c*, bzw. auch der Widerstand *w* wird nun so lange variiert, bis die Gleichgewichtslage wiederhergestellt ist, und man hat dann die Beziehung, wenn *c*, *l* und *w* bekannt sind:

$$2\pi\nu = \omega = \frac{2\pi}{T};\ \lambda = v\,.\,T$$

$$\lambda = v\,.\,\frac{2\pi}{\frac{1}{cw}\sqrt{\frac{w^2c}{l} - 1}}.$$

Hierin ist *c* in Farad und *l* in Henry einzusetzen.

Während des Gleichgewichtszustandes kompensiert die Kapazität die Selbstinduktion, d. h. bei Resonanz, die beim Gleichgewichtszustande herrscht, ist der Stromeffekt im System *II* ein Maximum. Zur Prüfung der richtigen Abgleichung kann man daher ein emp-

Digitized by Google

findliches Meßinstrument, wie beispielsweise ein Hitzdrahtamperemeter, in das System *II* einschalten, das bei Resonanz maximalen Ausschlag zeigt.

2. Anwendung der Methode.

Es wurde die Frequenz eines ungedämpften, mittels einer Gleichstrombogenlampe erregten Schwingungskreises bestimmt. Es fanden zwei Spulen l_1 und l_2 Verwendung, deren Selbstinduktionskoeffizienten waren:

$l_1 = 0{,}00249$ Henry (0,00240 Henry berechnet) und
$l_2 = 0{,}000836$ Henry (0,00081 Henry berechnet).

Zur Kapazität c war noch ein selbstinduktionsloser Widerstand h parallel geschaltet. Es war Gleichgewicht vorhanden bei:

$l_1 = 0{,}00249$ Henry, $h_1 = 53$ Ohm, $c_1 = 3$ MF,

daraus $\frac{\omega}{2\pi} = \nu = 1612$

$l_2 = 0{,}000836$ Henry, $h_1 = 27$ Ohm, $c_1 = 10$ MF,

daraus $\nu = 1708$.

Berechnet aus der Formel: $\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{CL}}$,

ergab sich: $\nu = 1691$; diese Zahl stellt mithin einen Mittelwert dar, dessen Annäherung an die tatsächlichen Werte deswegen um so bemerkenswerter ist, weil auch die zugrunde gelegten Kapazitäts- und Selbstinduktionswerte rechnerisch bestimmt waren.

3. Kritik.

Die experimentelle Bestätigung der Anwendbarkeit der Peukertschen Methode auf die Schwingungssysteme der Strahlentelegraphie steht noch aus. Soweit sich jedoch die Verhältnisse theoretisch überblicken lassen, ist das Verfahren für ungedämpfte schnelle Schwingungen anwendbar.

Hierbei ist das Feld von Spule l, das zugleich mit dem Felde von Spule e einsetzt, gegen das letztere um 180^0 in der Phase verschoben (die induzierte Spannung in l ist um 90^0 gegen den induzierenden Strom verschoben). Wenn man nun c und w so abgleicht, daß Gleichgewicht eintritt, so wird, da die Phasenverschiebung zwischen induzierter EMK und induziertem Strome Null geworden ist, der induzierte Strom gegen den induzierenden Strom eine Phasenverschiebung von 90^0 aufweisen.

Für gedämpfte Schwingungen lassen sich die auftretenden Er-

Digitized by Google

scheinungen nicht ohne weiteres überblicken. Je stärker gedämpft die Schwingungen sind, um so kleiner ist die Anfangsphasenverschiebung der Felder, und es ist möglich, daß infolge der Dämpfung überhaupt keine konstante Gleichgewichtslage erreichbar ist.

Literatur:

[1] Peukert, E.T.Z. 27. p. 768. 1906 (Verfahren zur Messung von Wechselstromfrequenzen). — [2] Peukert, E.T.Z. 26. p. 922. 1905 (Neues Verfahren zur Bestimmung von Selbstinduktionskoeffizienten).

---

17. Das Wellenmeßgerät von Seibt.

Durch die Meßvorrichtung von Seibt[×] soll der Übelstand vermieden werden, daß bei Veränderung der Selbstinduktion im Meßschwingungssystem die Resonanzstellung nicht mit der Isochronitätslage übereinstimmt, was zum Teil durch den Einfluß der Selbstinduktionsänderung und der damit verbundenen Änderung der induzierten E M K zusammenhängt. Um diesen Fehler auszuschließen, trennt Seibt die Selbstinduktion in feste und veränderliche Werte, genau so, wie das beim Rendahlschen Wellenmesser der Fall ist, und induziert von dem zu messenden System auf den festen Teil der Selbstinduktion, wo er diese mit einem Litzendraht versieht, dessen Enden an eine Transformatorspule angeschlossen sind. Tatsächlich würde der obengenannte Fehler aber nur dann vermieden werden können, wenn von dem zu messenden Schwingungssystem auf die kontinuierlich veränderliche Selbstinduktion induziert würde. Die von Seibt angestrebte konstante Kopplung dürfte daher mit seiner Anordnung nicht erreicht werden. Auch für die Konstanthaltung der Dämpfung scheinen keine Mittel vorgesehen zu sein.

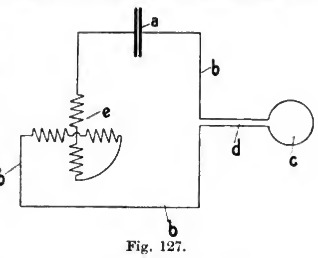


Fig. 127.

Die Fig. 127 gibt das Schaltungsschema wieder. *a* ist ein Kon-

[×] Gebrauchsmuster Nr. 286541: „Meßgerät zur Bestimmung der Eigenschaften elektrischer Schwingungen mit veränderlicher Selbstinduktion in einem Teil des Stromkreises und gleichbleibender Selbstinduktion in dem anderen Teil des Stromkreises." Angemeldet 3./7. 06. Eingetragen 22./8. 1906.

Digitized by Google

densator, *b* der feste Teil der Selbstinduktion, *d* ist ein Litzendraht, *c* eine Spule, *e* ist eine stetig veränderliche Selbstinduktionsvorrichtung, wie z. B. ein sogenanntes Kugelvariometer.

Mit dem Meßkreis wird ein Resonanzanzeiger, der von Seibt in dem angeführten Gebrauchsmuster nicht näher charakterisiert wird, verbunden.

---

18. Anordnung zur Fernwellenmessung von Graf Arco (Scheller).

Die Fernwellenmessung zerfällt ihren Ausführungsformen entsprechend in zwei Vorgänge:

a) in die Abstimmung des Empfängers auf den entfernten Sender (Tonmaximum im Telephon bei Anwendung eines integrierenden Detektors),

b) in die Feststellung der Frequenz des so eingestellten Schwingungssystems, wobei zu beachten ist, daß dieser zweite Vorgang dann fortfallen kann, wenn die variablen elektrischen Größen des Empfängers direkt in Wellenlängen geeicht sind.

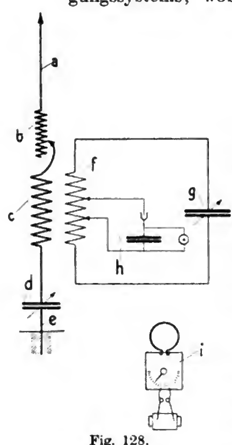


Fig. 128.

Eine von Scheller angegebene und von Graf Arco in die Praxis eingeführte Schaltung, welche sich für die Fernwellenmessung als praktisch erwiesen hat, stellt Fig. 128 dar.

a ist die Antenne, *b* eine Abstimmspule, *c* die Primärspule des Empfangstransformators, *d* ein variabler Kondensator, *e* die Verbindung nach Erde oder Gegengewicht. Möglichst lose mit dem Antennenkreise ist der Resonatorkreis gekoppelt, der aus der Sekundärspule *f* und einem Kondensator *g* besteht. Von *f* ist der Detektorkreis *h* abgezweigt. Als Detektor kann jeder beliebige quantitativ arbeitende Detektor, wie z. B. eine elektrolytische Zelle, ein Responder, ein Psilomelan-Detektor, ein Karborunddetektor oder dergl. Anwendung finden. Der Detektorkreis enthält zweckmäßig ein zu einem Kondensator parallel geschaltetes

Digitized by Google

Telephon. In einiger Entfernung vom Detektorkreise ist ein als Sender ausgebildeter Franke-Dönitzscher Wellenmesser aufgestellt. Letzterer ist mit *i* bezeichnet.

Es sind selbstverständlich auch noch andere Detektorschaltungen möglich; ferner kann zweckmäßig an Stelle des veränderlichen Kondensators *g* der Wellenmesser geschaltet werden, um so direkte Ablesungen zu ermöglichen.

Das Vorgehen bei der Fernwellenmessung ist nun entsprechend der obigen Einteilung folgendes:

Durch Regulieren der Kapazität und Selbstinduktion wird der Empfänger auf den entfernten Sender abgestimmt, so lange, bis das Tonmaximum im Telephon, bzw. der maximale Ausschlag im Indikationsinstrument vorhanden ist. Bei loser Kopplung ist hierbei im allgemeinen ein mehrfaches Nachregulieren nicht erforderlich. Es wird nunmehr der Wellenmesser erregt und an ihm diejenige Wellenlänge abgelesen, bei welcher abermals das Tonmaximum auftritt. Letztere Wellenlänge ist die des entfernten Senders.

Besser noch als mit Funkenerregung wird der Wellenmesser *i* mittels eines Unterbrechers und einer Stromquelle in Schwingungen versetzt (siehe z. B. S. 156), eine Schaltung, die wegen der so erzeugten schwachgedämpften Schwingungen eine außerordentlich scharfe Abstimmung zuläßt.

Eine derartige Wellenmessung ist insofern ideal, als sie unter den normalen Betriebsbedingungen stattfindet und jede gegenseitige Störung so gut wie ausgeschlossen ist.

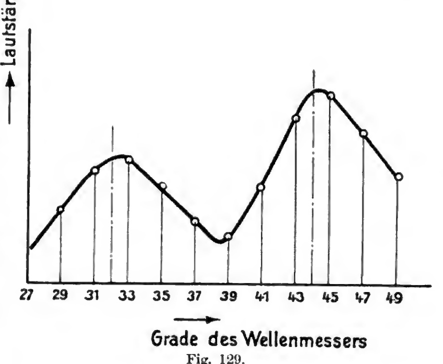


Fig. 129.

Das Resultat eines derartigen Versuches, bei welchem der Wellenmesser direkt mit der elektrolytischen Zelle verbunden war, ist in Fig. 129 wiedergegeben. Als Ordinaten sind die relativen Lautstärken-

Digitized by Google

werte aufgetragen, als Abszissen die Skalenteile des Wellenmesserkondensators. Es traten zwei Maxima auf: bei 32° und bei 44° entsprechend 855 m Wellenlänge und 970 m Wellenlänge; der Kopplungsfaktor war ungefähr gleich 12.

Besondere Bedeutung kommt der Fernwellenmessung zu, wenn sie in Verbindung mit einem Morseschreiber angewendet wird. Es kann dann mit dem Hörer der Empfänger schnell auf den Sender abgestimmt werden und der Fritterstromkreis entsprechend justiert werden. Hierbei wird zweckmäßig der quantitativ arbeitende Detektor direkt in die Empfangsantenne eingeschaltet. Die Schwierigkeit, mit dem Fritter den Empfänger auf den Sender abzustimmen, ist durch die neue Anordnung vollständig behoben.

Die Schaltung entsprechend Fig. 130 ist folgende:

Der geerdete Luftleiter *a* enthält die primäre Schreibtransformatorspule *b*, einen Abstimmkondensator *i*, eine variable Spule *l* und einen elektrolytischen Detektor *k*. Mit *b* gekoppelt ist der Fritterkreis *I*, der aus der sekundären Transformatorspule *c*, den Kondensatoren *g f*, dem Fritter *d* und dem Relais *h* besteht. Sobald der Kohärer *d* anspricht, wird in bekannter Weise ein Strom, der den Morse betätigt, durch das Relais geschlossen.

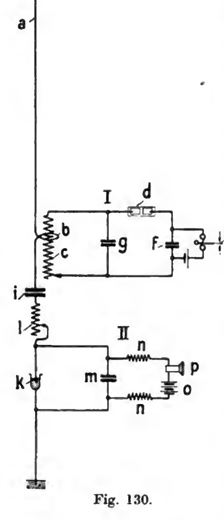


Fig. 130.

Parallel zum elektrolytischen Detektor liegt ein Kondensator *m*, von dem mittels Drosselspulen *n* ein Telephon *p* und eine Batterie *o* abgezweigt ist. Nach neueren Erfahrungen ist indessen diese Schaltung nicht besonders günstig, da eventuell infolge der großen Länge des auf die Drosselspule aufgewickelten Drahtes sich im Telephonkreise Eigenschwingungen ausbilden können. Ferner ist die Dämpfung bei dieser Schaltung nicht unbeträchtlich, jedenfalls ist die in Fig. 128 wiedergegebene Anordnung wesentlich günstiger.

Das Vorgehen bei der Schaltung nach Fig. 129 ist folgendes:

Zunächst wird mittels des Telephons der Luftleiter *a* abgestimmt derart, daß bei geringer Anfangskapazität *m*, die sukzessive gesteigert

Digitized by Google

wird, die zugehörigen Werte von i ermittelt werden. Auf diese Weise wird bei Abstimmung der Antenne auf die Senderschwingungen die kleinste Dämpfung erzielt. Nun erst wird der Fritterkreis auf die Antenne abgestimmt, indem die anfangs ziemlich feste Kopplung unter Veränderung von c allmählich loser gemacht wird. Korrektionen, insbesondere von g und f, sind in den meisten Fällen erforderlich.

Um nun die Frequenz der auftretenden Schwingungen festzustellen, kann man entweder die Kapazität und Selbstinduktion mit Marken versehen und aus Tabellen die dazu gehörigen Beträge ablesen, oder man kann direkt die genannten Größen in Frequenzen eichen.

Die Intensitätsschwächung durch den gleichzeitigen Betrieb von Schreib- und Hörapparat ist gering, durch einen Kurzschlußbügel zu k kann sie beim Schreiberbetrieb vollkommen vermieden werden.

Eine Schaltung entsprechend Fig. 130 ist Gegenstand folgender Patente der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H.:

D. R.-P. Nr. 165740	„Empfangsschaltung für Funkentelegraphie" (Fernwellenmesser mit Hilfe von Hör- und Schreibapparaten). Angemeldet am 18./10. 1904, erteilt am 29./9. 1905.
Brit. Pat. Nr. 10709/05	„Empfangsschaltung für Funkentelegraphie." Angemeldet am 22./5. 1905, erteilt am 3./9. 1905.
Franz. Pat. Nr. 353783	„Fernwellenmesser." Angemeldet am 28./4. 1905, erteilt am 20./9. 1905.
Russ. Schutzschein Nr. 26272	„Fernwellenmesser." Angemeldet am 5./18. 3. 1905.
Amerik. Pat. Ser. Nr. 268008	„Fernwellenmesser." Angemeldet am 27./6. 1905.
Austral. Pat. A. Nr. 3999	„Fernwellenmesser." Angemeldet am 28./8. 1905.

19. Der Stationsprüfer der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie.

Der Stationsprüfer ist ein Apparat, der je nach Betätigung eines an ihm angebrachten Kontaktes als geeichter, wenig gedämpfter Sender oder als Empfänger benutzt werden kann, und zwar, sofern er als Sendeapparat Anwendung findet, kann er gebraucht werden:

1. zur Abstimmung des Luftleiters auf eine bestimmte Wellenlänge und zur Kontrolle des Luftleiters,

Digitized by Google

2. zur Abstimmung des Resonatorkreises und zur Kontrolle desselben,
3. zur Bestimmung der Betriebsbereitschaft der Lokalstromkreise,
4. zur Feststellung der Empfindlichkeit der Detektoren,
5. zur Messung der Wellenlänge der aufgenommenen Schwingungen.

Die Anwendung des Stationsprüfers als Empfänger erfolgt:

1. zur Abstimmung der Sendeantenne auf eine bestimmte Wellenlänge und zur Kontrolle der Antenne,
2. zur Abstimmung des Flaschenkreises des Erregers,
3. zur Messung der Wellenlänge der ausgesandten Schwingungen,
4. zur Messung der Kopplung.

Das Schaltungsschema des Stationsprüfers gibt Fig. 131 wieder. *a*, *b*, *c* ist ein Schwingungskreis, der aus einem veränderlichen, kleinen Luftkondensator *a*, einer auswechselbaren Spule *b* (vorteilhaft aus Azetatdraht hergestellt), die je nach der gewünschten Wellenlänge verschieden groß bemessen ist, und einer Kopplungsspule *c*, welche mittels biegsamer Litzenschnur mit dem Schwingungssystem verbunden ist, besteht. Die Speisung des Schwingungssystems erfolgt durch das Element *d*, das durch die Unterbrechungsvorrichtung *ef* (der Widerstand der Spulen *f* beträgt ca. 100 Ohm) an den Kondensator angeschlossen ist; die Schaltung ist hierbei so getroffen — und das bedeutet einen wesentlichen Vorteil —, daß der Strom von *d* sowohl zur Ladung des Schwingungssystems *abc* dient, wie auch zur Betätigung der Unterbrechungsvorrichtung *ef*. Zur Vermeidung von Funken an der Unterbrechungsstelle, die namentlich dann beträchtlich werden können, wenn die Spule *b* eine große Windungslänge besitzt, ist ein Bifilarwiderstand *g* (ungefähr 150 Ohm) vorgesehen. Durch die bezeichnete Anordnung von *g* wird durch den Widerstand keine zusätzliche Dämpfung in das System gebracht, sondern es wird nur das Auftreten des schädlichen Unterbrechungsfunkens ver-

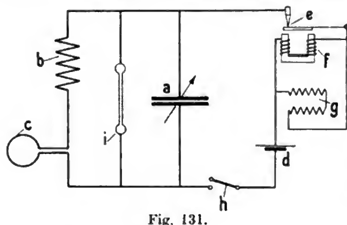


Fig. 131.

Digitized by Google

hindert. *h* ist ein Taster, der so eingerichtet ist, daß durch ihn entweder dauernd das System in Schwingungen versetzt wird, oder aber, daß entsprechend dem Morsealphabet Striche und Punkte mit *h* gegeben werden können. Schließlich ist noch eine stets eingeschaltete Heliumröhre *i* vorgesehen, welche, da ihr Widerstand sehr groß ist, bei Betätigung von *h* im allgemeinen nicht aufleuchtet. Es tritt vielmehr erst dann ein Leuchten in *i* auf, wenn Abstimmung zwischen dem Schwingungssystem *abc* und dem zu messenden erregenden System herrscht. Infolge ihres großen Widerstandes und daher des Nichtansprechens, solange der Stationsprüfer als Sender benutzt wird, kann also, ohne die Dämpfung des Systems zu erhöhen, die Röhre während des Gebens dauernd eingeschaltet bleiben. Die Heliumröhre ist auch aus dem Grunde von besonderem Vorteil, weil sie, wie jede spektralanalytische Röhre, auf Spannungen anspricht und weil entsprechend der Bemessung der Spule *b* an deren Ende mehr oder weniger ausgeprägte Spannungsbäuche vorhanden sind. Um diese noch besser hervortreten zu lassen, ist auch aus dem genannten Grunde der Kondensator in seinen Kapazitätswerten klein gehalten.

Die Wirkungsweise des Stationsprüfers ist, wie das auch schon aus obigem hervorgeht, folgende:

Durch das Element *d* und den Unterbrecher *ef* (Wagnerscher Hammer) wird der Kreis *abc* periodisch geladen und entladen, wobei Schwingungen erzeugt werden, deren Dämpfung verhältnismäßig sehr gering ist. Die so erzeugten wenig gedämpften Schwingungen werden mittels der Spule *c* auf das zu untersuchende System, z. B. den Luftleiter oder den Resonatorkreis, übertragen, wobei entsprechend der gerade zur Verwendung gelangten Wellenlänge die auswechselbare Spule *b* im großen ganzen bemessen wird. Eine Nachregulierung und feine Einstellung wird mittels des kleinen Luftkondensators *a* bewirkt.

Auf diese Weise wird nicht nur die Wellenlänge der einzelnen Kreise festgestellt, sondern es wird auch eine Kontrolle der Betriebsbereitschaft, Empfindlichkeit usw. ausgeübt.

Auch die Wellenlänge einer fernen Sendestation kann nach früher Mitgeteiltem mit dem Stationsprüfer festgestellt werden.

In der Sendestation dient der Stationsprüfer als Wellenmesser, indem die Heliumröhre als Resonanzindikator Verwendung findet. Außer der Kontrolle und Messung der Wellenlänge der Sendestation kann noch gut die Kopplung gemessen werden. Man hat hierbei den Vorteil, daß der als Erreger geschaltete Stationsprüfer in seinen

Digitized by Google

Angaben nicht von den starken Feldern beeinflußt wird, was namentlich bei großen Erregerkreisen leicht der Fall ist, und daß daher seine Angaben zuverlässig sind.

In Fig. 132 ist eine photographische Aufnahme des Stationsprüfers [×] wiedergegeben. Links ist der Handgriff des Luftkondensators



Fig. 132.

zu erkennen. Neben ihm ist die auswechselbare Spule (*b*) montiert. Rechts ist die Kopplungsspule *c* erkennbar.

Die Größenabmessungen des Stationsprüfers sind $270 \times 165 \times 110$ mm. Sein Gewicht beträgt ungefähr 3000 g.

---

20. Der Universalwellenmesser von Hahnemann.

Mit Rücksicht auf die in der modernen Hochfrequenztechnik angewandten wenig gedämpften Erregerkreise und Luftleitergebilde, welche eine sehr lose Kopplung zwischen Erregerkreis und Luftleitergebilde ermöglichen, und insbesondere durch die Einführung der von Poulsen angegebenen Methode zur Erzeugung ungedämpfter Schwingungen ist das Bedürfnis nach einem möglichst schwach und konstant gedämpften Meßinstrument, welches tunlichst alle in der Hochfrequenztechnik vorzunehmenden Messungen gestattet, rege geworden.

[×] Die Formgebung des Stationsprüfers rührt von F. Pichon her.

Digitized by Google

Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse wurde von Hahnemann ein Universalwellenmesser angegeben, welcher wohl sämtlichen in der Hochfrequenzmeßtechnik auftretenden Forderungen Genüge leisten dürfte. Dieses sehr handlich konstruierte Universalmeßinstrument, das einen nahezu unveränderlichen Apparat darstellt, mit welchem u. a. auch alle Untersuchungen, die mit dem Stationsprüfer (s. S. 149 ff.) bewirkt werden, ebenfalls vorgenommen werden können, wird von der C. Lorenz-Aktiengesellschaft fabriziert und in den Handel gebracht. Die Arbeitsgebiete und Vorzüge sind folgende:

1. Der Universalwellenmesser kann benutzt werden als geeichter Resonator unter Anwendung einer spektralanalytischen Röhre, wie beispielsweise einer Heliumröhre, um das Resonanzmaximum schnell festzustellen.

2. Der Universalwellenmesser kann als geeichter Resonator gebraucht werden, wobei mit dem Meßsystem kapazitiv (dielektrisch) ein Energieanzeiger verbunden wird, welcher die Aufnahme und Messung der Wellenlänge, und insbesondere der Dämpfung, Kopplung usw. gestattet.

3. Ein weiteres Anwendungsgebiet des Universalwellenmessers ist, daß dieser als geeichter Oszillator mit Generator (Lichtbogen) zur Erzeugung ungedämpfter Schwingungen bestimmter Frequenz benutzt wird. — Mit dieser Anordnung können bei Benutzung einer Poulsenschen Bogenlampe auch größere Energiemengen nutzbar gemacht werden.

4. Bei der Schaltung des Universalwellenmessers als Oszillator für schwach gedämpfte, schnelle elektrische Schwingungen wird mit dem Oszillator ein Doppelunterbrecher verbunden. — Diese Schaltung dient im wesentlichen dazu, die Empfangskreise gedämpfter oder auch ungedämpfter Stationen auf ihre Wellenlänge, Kopplung, Empfindlichkeit usw. hin zu untersuchen. Es kann also bei dieser Anwendungsform eine dauernde Kontrolle der Betriebsverhältnisse von Stationen der Strahlentelegraphie ausgeübt werden.

5. Bei Benutzung einer Funkenstrecke und einer kleinen Hochspannungsquelle (Induktor) kann der Universalwellenmesser als geeichter Oszillator zur Erzeugung gedämpfter Schwingungen stärkerer Intensität Anwendung finden.

6. Eine weitere Anwendungsform des Universalwellenmessers ist die als Empfänger für gedämpfte Schwingungen, wobei mit dem Wellenmesser direkt, induktiv oder kapazitiv eine aus Detektor und Anzeige-, bzw. Arbeitsvorrichtung bestehende Empfängeranordnung

Digitized by Google

verbunden ist, um hiermit direkte Fernwellenmessung bei gleichzeitigem Empfang elektromagnetischer Wellen zu ermöglichen.

7. Auch als Empfänger für ungedämpfte Schwingungen kommt der Universalwellenmesser in Betracht, indem mit dem eingeschalteten Doppelunterbrecher ein Telephon verbunden wird.

8. Ferner kann der Universalwellenmesser zur Messung von Kapazitäten, Selbstinduktionen u. dgl. angewendet werden.

Die Ausbildung des Universalwellenmessers ist so getroffen, daß ein nahezu sämtlichen bisher bekannten Wellenmessern anhaftender Übelstand, nämlich der der veränderlichen Dämpfung des Schwingungssystems, insbesondere durch den Resonanzindikator, fast vollkommen vermieden wird.

Dieser Vorzug wird erreicht erstens durch richtige Wahl des Drahtes für verschiedene Spulen und zweitens dadurch, daß in das aus Kapazität und Selbstinduktion bestehende Schwingungssystem ein Wechselstromwiderstand, z. B. eine passend bemessene Kapazität, eingeschaltet wird, mit welcher kapazitiv ein Energieanzeiger verbunden wird.

Durch die Anwendung eines derartigen Wechselstromwiderstandes ist es überhaupt erst möglich geworden, ohne jedesmalige Umschaltung für die verschiedenen Meßbereiche einen wenig und annähernd konstant gedämpften Wellenmesser, dessen Dämpfung stets bekannt ist, herzustellen, obwohl ein verhältnismäßig stark Energie verzehrendes Instrument, wie z. B. ein Hitzdrahtwattzeiger von Hartmann & Braun A. G., Verwendung findet. Ein derartiger stark Energie verzehrender Indikator dämpft das Meßsystem bei dem Meßbereich der kleinen Wellenlängen nahezu ebenso stark wie bei großen Wellenlängen, da bei kleinen Wellenlängen der durch den Wechselstromwiderstand fließende Strom größer ist, als bei großen Wellenlängen.

Die Selbstinduktionsspulen sind in ihren elektrischen Abmessungen so gewählt, daß sich die Kurven für fünf Meßbereiche, nämlich von etwa 60—2600 m Wellenlänge für Kondensatorstellungen von 25—150° gleich gut überdecken. Kondensatorstellungen unter 25° und über 150° werden im allgemeinen zur Frequenzmessung nicht gebraucht.

Besondere Rücksicht ist auf die Formgebung der Spulenkörper gelegt, welche, um eine unnötig große Dämpfung zu vermeiden, eine niedrige, gedrungene Gestalt erhalten haben (Spulenhöhe ungefähr gleich dem halben Spulendurchmesser). Diese Anordnung hat sich aus dem Grunde als besonders zweckmäßig erwiesen, weil für alle vorkommenden Wellen die Eigenschwingung der Spulen sich nicht störend bemerkbar macht.

Digitized by Google

Ferner ist auf die Wahl der elektrischen Dimensionen der einzelnen Schaltungselemente des Universalwellenmessers besondere Rücksicht genommen. Diese sind nämlich so bemessen, daß bei möglichster Kleinheit des gesamten Apparates doch alle Schaltungsarten mit gutem Erfolge Verwendung finden. So z. B. ist das Verhältnis von Kapazität zu Selbstinduktion so gewählt, daß sich die gleiche Empfindlichkeit für die Heliumröhre, wie auch für den Energieanzeiger, welcher etwa $^1/_{10}$ Watt Maximalverbrauch bei 10 Ohm Widerstand besitzt, ergibt.

Maßgebend für die Konstruktion war ferner das Prinzip der leichten Auswechselbarkeit der einzelnen Schaltungselemente und die Anordnung zweier Exemplare von solchen Konstruktionsteilen, welche selbst bei exakter Herstellung bei unrichtiger Behandlung verhältnismäßig leicht versagen können. Hierzu gehört beispielsweise die Heliumröhre und der Doppelunterbrecher. Dadurch werden Betriebsstörungen des Apparates so gut wie vollständig vermieden, indem durch einfaches Herausziehen des das augenblicklich nicht funktionierende Schaltungselement tragenden Stöpsels und Ersatz dieses Stöpsels durch den entsprechenden zweiten beigegebenen Stöpsel eine nennenswerte Betriebsstörung vermieden wird. Auch die anderen Teile des Wellenmessers, welche einer Abnutzung oder möglichen Zerstörung unterliegen, wie Trockenelemente und Kondensatoren, sind leicht auswechselbar angeordnet.

Das Grundprinzip der Schaltung gibt Fig. 133 wieder. *a* ist ein veränderlicher Plattenkondensator, *b* eine feste Kapazität, *c* eine auswechselbare Spule, *d* ein Stöpselkontakt. Zu diesem System kann in passender Weise eine Stromquelle parallel geschaltet werden.

Fig. 133.

Ein Schaltungsschema und eine heute wohl nicht mehr in Betracht kommende Ausführungsform des Universalwellenmessers ist in den Fig. 134 bis 140 wiedergegeben.

In einem Holzkasten *A* mit Hartgummideckel *B* ist der variable Plattenkondensator *C*, dessen Drehplatten mit einem Knopf *F* und Zeiger *D*, der eine Skala *E* bestreicht, versehen sind, eingebaut. Unter dem Drehkondensator liegen die festen, in Reihe geschalteten Kapazitäten *L*, welche in der gezeichneten Weise an die Stöpsellöcher *GH* gelegt sind, während die Platten von *C* mit den Stöpsellöchern *IK* verbunden sind. *M* und *N* sind Stöpselbuchsen, bzw. Stöpsel, um die auswechselbaren, mit biegsamen Anschlußleitern

Digitized by Google

versehenen Spulen *O*, deren Induktanzwerte zur Erzielung voneinander abweichender Wellenlängen verschieden abgeglichen sind, in das System einzufügen. *P* ist ein Trockenelement, das zur Betätigung des Doppelunterbrechers *R* dient. *Q* ist ein Schalter, um den Unterbrecher als Sender zu betätigen. *S* dient zur Anschaltung eines Telephons, wenn der Universalwellenmesser als Unter-

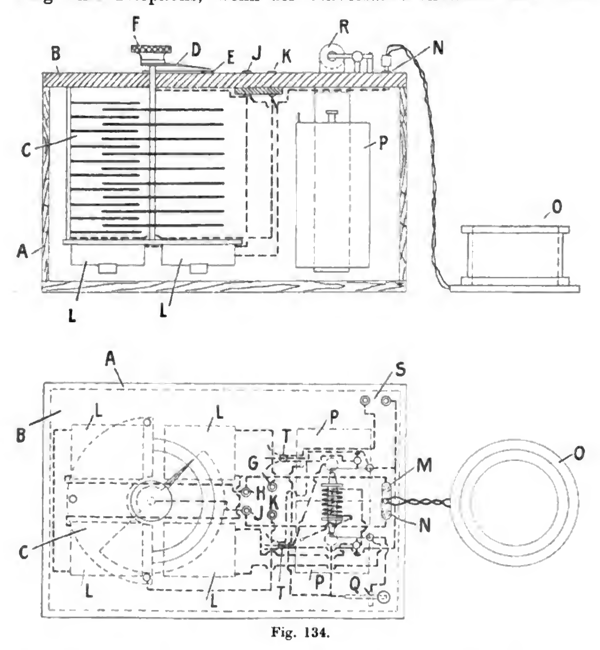


Fig. 134.

brecherempfänger für ungedämpfte Wellen benutzt wird. Zur Inbetriebsetzung dieses Kreises dient das zweite Element *P*. In dem Kastendeckel *B* sind Löcher *T* gebohrt, aus denen je dreifach unterteilte Leiter herausragen, welche zum Anschluß der Elementpole *P* und der Unterbrecherfeder, bzw. eines der Telephonanschlüsse *S* vorgesehen sind. Jedes der aus diesen Löchern herausragenden Kabel ist mit Schaltstöpseln verbunden.

Digitized by Google

Außerdem sind dem Apparate drei weitere Stöpsel beigegeben, die in den Fig. 135, 136 und 137 dargestellt sind.

Fig. 135 zeigt eine mit dem Stöpsel beweglich verbundene Heliumröhre mit einer die Empfindlichkeit regulierenden verstellbaren Elektrode nach Ament.

Fig. 136 stellt eine kleine Erregerfunkenstrecke dar, und Fig. 137 zeigt den mit Widerstand und Energieanzeiger verbundenen Stöpsel.

Fig. 135.

Fig. 136.

Fig. 137.

Die Fig. 138, 139 und 140 geben Gesamtansichten des Universalwellenmessers, der dazu gehörenden Einzelteile und der Verpackung.

Fig. 138 zeigt eine Aufnahme des geöffneten Wellenmessers. Rechts ist der Drehkondensator, links sind die den Unterbrecher und das Telephon betätigenden Elemente erkennbar. Neben den Elementen



Fig. 138.

liegt der die Heliumröhre mit regulierbarer Empfindlichkeit enthaltene Stöpsel.

Fig. 139 zeigt den Aufbau des Wellenmessers für eine Dämpfungsmessung. Auf die mit dem Wellenmesser verbundene Spule wird von einem in der Figur rechts befindlichen Schwingungssystem aus induziert. Vor dem Wellenmesser sind die ineinander angeordneten Spulen sichtbar, welche wahlweise Verwendung finden.

Digitized by Google

Die Art der Verpackung geht aus Fig. 140 hervor. Der Universalwellenmesser ist in einen bequem tragbaren Lederbehälter eingeschlossen, an dessen Deckel der Energieanzeiger und der Spulensatz befestigt ist. Außerdem sind an dem Deckel Leisten vor-



Fig. 139.



Fig. 140.

gesehen, um die einzelnen Stöpsel, die die Funkenstrecken, die Heliumröhre und den Dämpfungswiderstand tragen, leicht transportieren zu können.

Digitized by Google

In der Ansicht des Universalwellenmessers von oben (Fig. 140 links) sind die in Fig. 134 dargestellten Einzelteile, wie Doppelunterbrecher, Hörempfängerstöpsel, Senderstöpsel usw., zu erkennen.

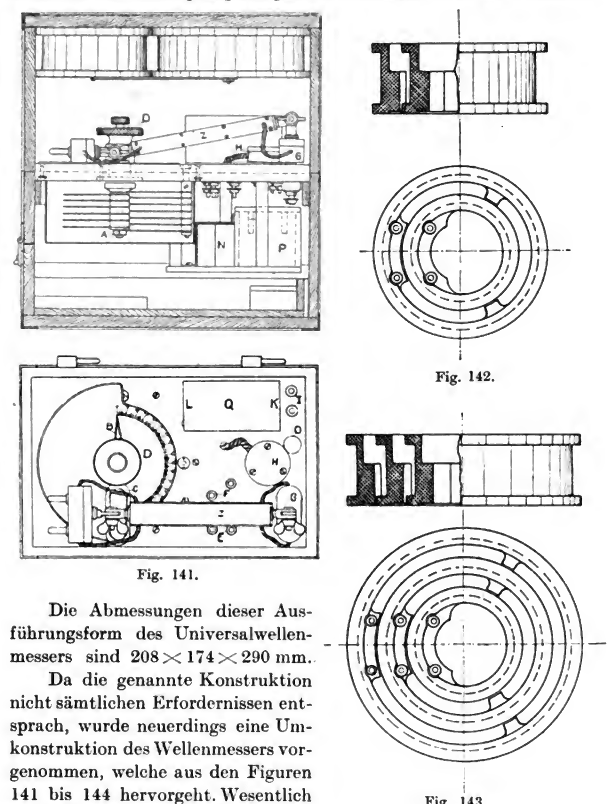


Fig. 141.

Fig. 142.

Fig. 143.

Die Abmessungen dieser Ausführungsform des Universalwellenmessers sind 208 × 174 × 290 mm.

Da die genannte Konstruktion nicht sämtlichen Erfordernissen entsprach, wurde neuerdings eine Umkonstruktion des Wellenmessers vorgenommen, welche aus den Figuren 141 bis 144 hervorgeht. Wesentlich ist, daß der besondere Wellenmesserkasten in Fortfall gekommen ist und statt dessen ein sämtliche Einzelteile umschließender Holzkasten angewendet wird, der in

Digitized by Google

geschlossenem Zustande sämtliche Einzelteile und Schaltungselemente in seinem Innern enthält und gegen äußere Einflüsse schützt.

Es bezeichnet in Fig. 141 *A* den veränderlichen Drehkondensator, welcher mit Ölisolator arbeitet, *B* den Spitzenzeiger, der



Fig. 144.

eine in 180° geteilte Skala bestreicht, *C* einen sogenannten Fensterzeiger nach Beggerow, welcher 5 Skalen, die direkt in Wellenlängen geeicht sind, bestreicht. *D* ist ein mit Feststellvorrichtung versehener, die drehbaren Kondensatorplatten betätigender Knopf. *E* sind Stöpsellöcher zum Anschalten eines Kontrolltelephons für den Doppel-

Digitized by Google

unterbrecher, *F* sind Stöpsellöcher, in welchen die Stöpselbuchsen der die einzelnen Schaltungselemente tragenden Stöpsel eingesetzt werden. *GZ* ist ein beweglicher, stöpselbarer Spulenarm, welcher zum Anstöpseln der Spulen dient, und in jede Lage gebracht und darin eingestellt werden kann. *H* ist ein Senderstöpsel zur Betätigung des durch *O* in Betrieb gesetzten Doppelunterbrechers *KLQ*. *I* dient zum Anstöpseln eines Telephons, sobald der Wellenmesser als Hörempfänger und Fernwellenmesser Verwendung findet. *N* sind Kondensatoren, *P* Trockenelemente.



Fig. 145.

Im Deckel des Kastens sind die mit Anschlußstöpseln versehenen, teilweise ineinander angeordneten Spulen für die 5 Meßbereiche vorgesehen. Die Konstruktion der Spulen geht aus den Fig. 142 und 143 hervor.

Aus Fig. 144 ist die Art der Ausführung des Wellenmessers zu ersehen. Auf der Wellenmesserplatte sind die Zeiger, der bewegliche Kontaktarm, ein Heliumröhrenstöpsel und ein mit Schutzkasten versehener Doppelunterbrecher zu erkennen. Im Deckel des Wellenmessers sind die Wellenmesserspulen, die Funkenstrecke mit Schutzkappe und eine Reserve-Heliumröhre erkennbar.

Digitized by Google

Fig. 145 gibt die Zubehör- und Reserveteile des Wellenmessers wieder. Links, neben dem Element, ist das mit Einstellvorrichtung versehene Hitzdrahtinstrument, welches mit Sicherung ausgerüstet ist, dargestellt. Neben diesem sind die ineinander angeordneten Spulen, ferner der Doppelunterbrecher mit abgenommenem Schalldämpfungsgehäuse, sowie der bewegliche Kontaktarm und eine flexible Erregerschleife sichtbar. Vorn im Bilde liegen Telephon mit Stöpsel, Funkenstrecke mit abgenommenem Schalldämpfungsgehäuse, Reservekalotten und Verbindungslitzen.

Mit der geschilderten Wellenmeßanordnung ist ein praktisch nahezu konstant gedämpftes Meßinstrument, dessen Dämpfung bekannt ist, geschaffen.

Der Forderung, daß für ein modernes Wellenmeßgerät die Größe der Abmessungen eine wesentliche Rolle spielt, ist beim Universalwellenmesser in weitgehendstem Maße Rechnung getragen.

Die Abmessungen der modernen Ausführungsform des Universalwellenmessers sind $330 \times 313 \times 203$ mm.

Das Gewicht des kompletten Universalwellenmessers, ausschließlich Hitzdrahtinstrument und Induktor, ist etwa 14 kg.

---

21. Die Wellenlängentafel von Massie.

Mit Hilfe der Wellenlängentafel von Massie[×] ist es möglich, ohne weiteres die Wellenlänge eines Systems zu bestimmen, wenn Kapazität und Selbstinduktion gegeben sind; oder man kann mittels der Tafel bei gegebener Wellenlänge die Kapazität oder Selbstinduktion, wenn die entsprechende andere Größe bekannt ist, feststellen.

Um ein leichtes, sicheres Ablesen zu ermöglichen, ist die von Massie in der erwähnten Veröffentlichung eingeschlagene Methode der Zusammendrängung der hyperbolischen Kurven auf einen kleinen Raum hier nicht angewendet, sondern es sind vielmehr die die Wellenlängen darstellenden Hyperbeln in ihrer ganzen Länge durchgezeichnet.

Den Kurven zugrunde liegt die Formel

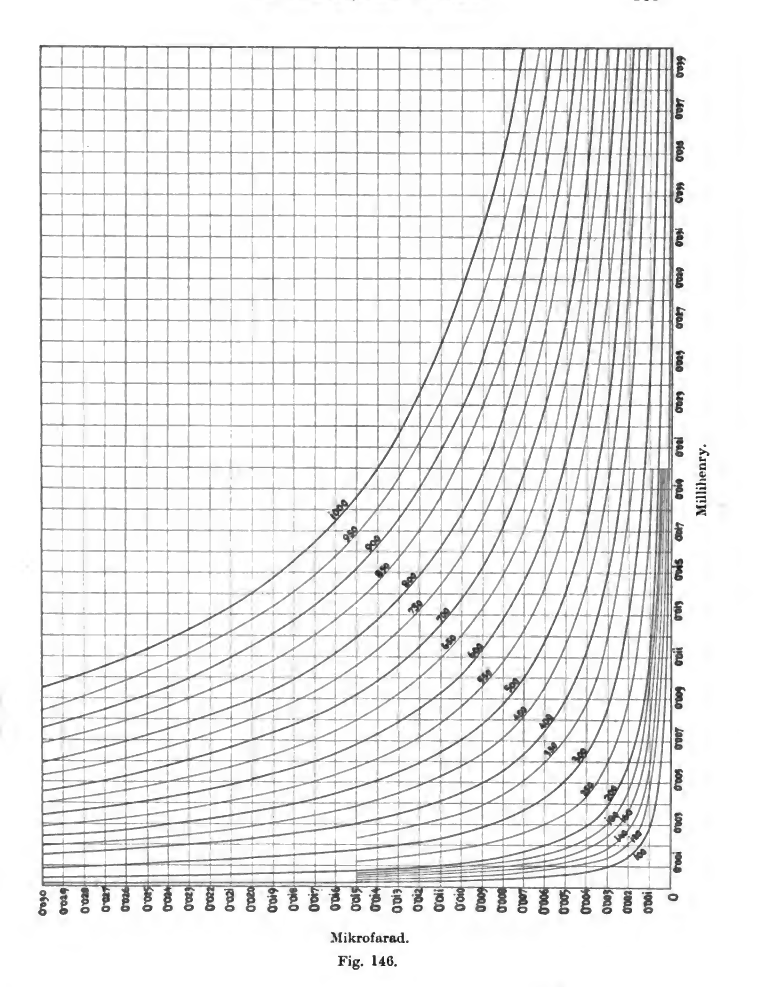
$$\lambda = 2\pi v \sqrt{CL},$$

die man auch schreiben kann

$$\lambda^2 = \text{konstant} \,.\, CL.$$

[×] Massie W. W. Electrical World. Vol. Nr. 7. p. 330. 1906. (Diagram of electric Wave-lengths).

Digitized by Google



Mikrofarad.

Fig. 146.

Digitized by Google

Diese Gleichung besagt, daß die Kurve der Wellenlänge eine gleichseitige Hyperbel ist.

Der Gebrauch der Tafel (Fig. 146) ist überaus einfach. Eine Wellenlänge von 850 m kann z. B. mit einem Systeme von 0,023 MF. und einer Selbstinduktion von 0,009 Milli-Henry erreicht werden; statt dessen kann man auch, wie aus der Tafel hervorgeht, z. B. 0,012 MF. und 0,010 Milli-Henry wählen, um 850 m Wellenlänge zu erzielen.

Bei Berücksichtigung der Dezimalen gelten die Kurven selbstverständlich sinngemäß auch für Wellenlängen unter 100 m und über 1000 m.

Zur leichteren Umrechnung der Selbstinduktions- und Kapazitätswerte soll die nachstehende Tabelle dienen:

Kapazität:

1 elektromagnetische Einheit $= 9 \cdot 10^{20}$ elektrostatische Einheiten,

1 Farad $= 9 \cdot 10^{11}$ Kapaz.-Einheiten,

1 Farad $= 10^{-9}\, C^{-1}\, S^{2}$,

1 Mikrofarad $= 9 \cdot 10^{5}$ Kapaz.-Einheiten,

1 Mikrofarad $= 10^{-15}\, C^{-1}\, S^{-2}$,

$1 \cdot 10^{-6}$ Mikrofarad $= 0{,}9$ cm,

1 cm $= 0{,}0000011$ Mikrofarad.

Selbstinduktion: 1 Henry $= 10^{9}$ cm.

Digitized by Google

Zweiter Abschnitt.

Die Dämpfungsmessmethoden und -anordnungen.

1. Die Bjerknessche Theorie.

Grundlegend für alle auf dem Resonanzprinzip beruhenden Dämpfungsmethoden sind die Arbeiten von Bjerknes aus den Jahren 1891—1895, deren wesentlicher Inhalt, soweit er für den vorliegenden Zweck in Betracht kommt, folgender ist:

1. Allgemeines. Bezeichnungen.

Die Eigenschwingungen eines Oszillators und eines Resonators bedingen die Feldverteilungen; sie hängen von folgenden Parametern ab:

1. Schwingungsdauer des Oszillators,
2. Schwingungsdauer des Resonators,
3. Logarithmisches Dekrement (Dämpfung) des Oszillators,
4. Logarithmisches Dekrement (Dämpfung) des Resonators,
5. Eine Konstante, die die Intensität der Schwingungen angibt.

Wenn einer dieser Faktoren verändert wird, müssen die anderen bestimmbar sein.

Das Dekrement als solches zerfällt in:

a) Hertzsches Ausstrahlungsdekrement,
b) Joulesches Erwärmungsdekrement.

Je kleiner der Drahtdurchmesser oder der Widerstand oder die Magnetisierbarkeit des betreffenden Leiters ist, um so kleiner ist das Hertzsche und um so größer ist das Joulesche Dekrement.

Geschlossene Systeme haben im allgemeinen viel kleinere Dämpfungen als offene Systeme; erstere haben durchschnittlich etwa zehnmal so kleine Dämpfungen.

Digitized by Google

Als Ausgangspunkt wählt Bjerknes die Arbeitsdifferentialgleichung zweiter Ordnung für eine Schwingung (ohne Obertöne):

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2\beta\frac{d\varphi}{dt} + (b^2 + \beta^2)\varphi = F(t),$$

wo $F(t) = \mathfrak{A} \cdot e^{-\alpha t} \cdot \sin(at + \mathfrak{a})$ ist.

Dieser Ausdruck hat zur Voraussetzung, daß der Oszillator beispielsweise durch eine Funkenstrecke erregt wird und einfache gedämpfte Sinusschwingungen aussendet. Hierbei ist φ ein Parameter, $\mathfrak{A}$ der Intensitätsfaktor der Schwingungen, a und b sind die mit 2π multiplizierten sog. „zyklischen Schwingungszahlen"; $\mathfrak{a}$ ist die Phasenkonstante, die $= \frac{\pi}{2}$ angenommen wird; α und β sind „Dämpfungskomponenten" (Dämpfungsfaktoren), welche während eines Versuches möglichst unveränderlich sein müssen. Diese, mit der Schwingungsdauer multipliziert, geben die „logarithmischen Dekremente", die mit γ (Primärkreis) oder δ (Sekundärkreis) bezeichnet werden.

Die Schwingungsdauern werden mit x_1 und x_2 benannt; man hat dann:

$$a = \frac{2\pi}{x_1};\ b = \frac{2\pi}{x_2};\ \alpha = \frac{\gamma_1}{x_1};\ \beta = \frac{\gamma_2}{x_2}.$$

Für das feste System sei x die Schwingungsdauer,
für das variable System sei X die Schwingungsdauer.

Man hat stets x, und gesucht ist immer:

$$X,\ \gamma,\ \delta,\ \mathfrak{A}.$$

Es wird willkürlich angenommen, daß der Mittelwert ω der Dekremente γ und δ gegen 2π so klein sein soll, daß man ω^2 neben $4\pi^2$ vernachlässigen kann, und ferner soll $x - X$ so klein neben X sein, daß man $(x - X)^2$ neben $(2X)^2$ vernachlässigen kann, d. h. es sollen nur Messungen bei annäherndem Isochronismus in Betracht kommen.

Es werde ferner gesetzt:

$$m = \frac{a+b}{2};\ n = \frac{a-b}{2};\ \mu = \frac{\alpha+\beta}{2};\ \nu = \frac{\alpha-\beta}{2}.$$

2. Resonatorschwingungen und Amplitudenkurve.

φ als Funktion der Zeit findet sich aus

$$\varphi = M \cdot \sin(mt + m');$$

hierin sind M (die Amplitude) und m' (die Periode) Funktionen der Zeit.

Die Resonatorschwingung setzt sich im allgemeinen aus zwei Einzelschwingungen zusammen:

Digitized by Google

α) der erzwungenen, deren Schwingungszahl und Dekrement gleich der des Oszillators ist;

β) den Eigenschwingungen, die abhängig sind von den Resonatorkonstanten.

Um ein Bild der Resonatorschwingungen zu erhalten, zeichnet man die Amplitudenkurve

$$y = \pm M .$$

Aus der Gleichung für φ folgt, daß φ eine zwischen der Amplitudenkurve eingeschlossene Wellenkurve darstellt.

Vier wichtige Formen der Resonatorschwingungen, bzw. Amplitudenkurven sind zu unterscheiden:

I. Resonator und Oszillator haben dieselbe Schwingungsdauer und Dämpfung,

also $n = \nu = 0$, dann wird

$$M = \pm \frac{\mathfrak{A}}{2m} . t . e^{-\mu t}$$

(Ableitung, aus der allgemeinen Gleichung unter IV hervorgegangen.)

In Fig. 147 ist das dargestellt für den Dämpfungsfaktor $\gamma = 0{,}04$; in Fig. 148 ist die Wellenform für $\gamma = 0{,}4$ wiedergegeben.

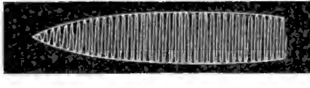


Fig. 147.

II. Resonator und Oszillator haben dieselbe Schwingungsdauer, aber verschiedene Dämpfung.



Fig. 148.

Es ist also $n = 0$ und $\nu \lesseqgtr 0$; dann ist

$$M = \pm \frac{\mathfrak{A}}{4 m \nu} . e^{-\mu t} (e^{-\nu t} - e^{\nu t}),$$

gut, wenn $\gamma > \delta$ ist.

Für $\gamma = 0{,}4$ und $\delta = 0{,}04$ ist das in Fig. 149 dargestellt.



Fig. 149.

III. Resonator und Oszillator haben verschiedene Schwingungsdauer, aber dieselbe Dämpfung.

Es ist also $n \gtrless 0$ und $\nu = 0$; dann bekommt die Amplitudenkurve eine gedämpfte Sinusform:

Digitized by Google

$$M = \pm \frac{\mathfrak{A}}{2mn} \cdot e^{-\mu t} \sin nt.$$



Fig. 150.

Hierbei treten Schwebungen auf (Fig. 150 und 151).

Fig. 150 ist aus Fig. 147, Fig. 151 ist aus Fig. 148 entstanden.

IV. Resonator und Oszillator haben verschiedene Schwingungsdauer und verschiedene Dämpfung;

$$n \gtrless 0, \quad \nu \gtrless 0.$$

Fig. 151.



Fig. 152.

$$M = \pm \frac{\mathfrak{A}}{4m\sqrt{n^2+\nu^2}} \cdot e^{-\mu t}\left\{\left(e^{-\nu t} - e^{\nu t}\right)\cos nt + \left(e^{-\nu t} + e^{\nu t}\right)\sin nt\right\}.$$

Diese Gleichung ist die allgemeinste, aus der die entsprechenden unter I—III hervorgegangen sind. Die Schwebungen sind, wie Fig. 152 zeigt, sehr schwach, und zwar sind sie um so weniger ausgebildet, je verschiedener die Dämpfung zwischen Resonator und Oszillator ist.

Die Maximalamplitude, also bei Isochronismus, wird

$$M_m = \frac{\mathfrak{A}}{4\pi} \cdot \frac{X^2}{\delta}\left(\frac{\gamma}{\delta}\right)^{\frac{\gamma}{\delta - \gamma}}.$$

Diese Form wird zweckmäßig angewendet, wenn $\gamma < \delta$ ist.

Die Stromintensität i im Resonatorkreis folgt aus

$$i = k \cdot m \cdot M \cdot \cos(mt + m');$$

wo k ein konstanter Proportionalitätsfaktor ist.

3. Über Meßmethoden.

Nur die Methoden, mittels derer man den Integralwert der Schwingungen mißt, haben praktische Bedeutung; hierzu gehört die elektrometrische Methode, sowie solche, die auf magnetischen oder thermischen Wirkungen beruhen. Das von Hertz angewandte Verfahren der Funkenmessung gibt nur den Wert der größten Amplitude.

Für den Fall, daß Resonator und Oszillator auf Isochronismus

Digitized by Google

abgestimmt sind, erhält Bjerknes folgende auf die Schwingungsdauer bezogenen Sätze:

1. Das sekundäre Funkenpotential ist proportional dem Quadrat der Schwingungsdauer.

Der magnetische oder thermische Integraleffekt ist proportional dem Kubus der Schwingungsdauer.

Der elektrische Integraleffekt ist proportional der 5. Potenz der Schwingungsdauer.

Für den Fall, daß der isochrone Resonator und Oszillator gleiche Dämpfung haben, gilt:

2. Das sekundäre Funkenpotential ist umgekehrt proportional der 1. Potenz des gemeinschaftlichen logarithmischen Dekrements.

Der Integraleffekt ist umgekehrt proportional der 3. Potenz des gemeinschaftlichen logarithmischen Dekrements.

Wenn man δ gegen γ vernachlässigen darf, also bei sehr verschiedener Dämpfung gilt:

3. Das sekundäre Funkenpotential ist umgekehrt proportional dem größten logarithmischen Dekremente und von dem kleinsten Dekremente unabhängig.

Der Integraleffekt ist umgekehrt proportional dem Quadrate des größten und der 1. Potenz des kleinsten logarithmischen Dekrements.

Aus diesen Sätzen geht hervor, daß für schwach gedämpfte Systeme die Integralmethoden anzuwenden sind, für stark gedämpfte die Funkenmeßmethode. Zweckmäßiger und genauer sind jedoch auch hierfür Verfahren, bei denen Hitzdrahtinstrumente oder ev. Dynamometer Verwendung finden.

Wenn man mit y die Skalenablesung am Indikationsinstrument bezeichnet und wenn man Proportionalität zwischen Skalenablesung und Integraleffekt voraussetzt, dann gilt folgendes:

Wählt man als Abszisse die Schwingungsdauer x des variablen Leiters, als Ordinate die Skalenablesung y, so erhält man eine Kurve nach folgender Gleichung:

$$y = Y \frac{\omega^2 X^2 + \pi^2 S (x - X)}{\omega^2 X^2 + 2 \omega \varepsilon X (x - X) + (\pi^2 + \varepsilon^2)(x - X)^2};$$

hierin ist

$$\omega = \frac{\gamma_0 + \delta}{2}$$

$$\varepsilon = \frac{\gamma_1 + \delta}{2}$$

Digitized by Google

Beziehungsgleichung zwischen Resonator und Oszillator;

γ_0 = Mittelwert des logarithmischen Dekrements im Intervalle von x_1 bis x_2, d. h. der äußeren Grenzwerte;

γ_1 = logarithmischer Dekrementsfaktor für mittlere Veränderung des Intensitätsfaktors; S ein Parameter;

x = Schwingungsdauer des veränderlichen Systems. X = Schwingungsdauer des festen Systems. (Es kommt hierbei nicht auf den Unterschied zwischen primären und sekundären Leiter an, sondern nur auf den festen und veränderlichen Leiter.)

4. Bestimmung der Mittelwerte der logarithmischen Dekremente.

Die graphische Darstellung der Resonanzkurve läßt unter Berücksichtigung der Gleichungen für die Abszissen und Ordinaten folgendes erkennen:

Das Ausmessen einer experimentell gefundenen Resonanzkurve gestattet die angenäherte Bestimmung der drei Parameter X, Y und ω (Schwingungsdauer des einen Systems, Elektrometerausschlag bei Isochronismus und gemeinsamer Dämpfung) von einem gemeinsamen Fehler 2. Ordnung abgesehen. Der 4. Parameter S ist mehr oder weniger fehlerhaft.

Fig. 153.

Um nunmehr die Parameter zu bestimmen, verfährt man, wie folgt:

In der Resonanzkurve (Fig. 153) zieht man zwei oder mehrere beliebige Sehnen, die aber parallel zur X-achse verlaufen, und zeichnet die Mittelpunktskurve V dieser Sehnen. Die Kurve ist eine Hyperbel, wie sich mathematisch beweisen läßt, die sich asymptotisch der X-Achse nähert. Zu V wird die Asymptote cd konstruiert; letztere schneidet die Resonanzkurve im Isochronitätspunkte, dessen Abszisse das verlangte X ist, und dessen Ordinate das gesuchte Y darstellt. Die zu X parallele Sehne durch diesen Punkt ist das gesuchte S. Nach Eintragung der Buchstaben a, b, c, d benutzt man zur Berechnung der Gesamtdämpfung den Ausdruck

Digitized by Google

$$\frac{\gamma + \delta}{2} = \omega = \frac{\pi}{X} \sqrt{\frac{a\,b\,c}{d}}.$$

Korrektionen des so gefundenen Ausdrucks sind möglich, kommen aber wegen der Schwierigkeit ihrer Bestimmung kaum in Betracht. Hierbei ist ferner angenommen, daß γ und δ gegen 2π klein sein sollen, und daß ω^2 neben $(2\pi)^2$ vernachlässigbar ist.

Es zeigt sich, daß die Genauigkeit der Dämpfungsbestimmung um so mehr zunimmt, je kleiner der Mittelwert der logarithmischen Dekremente der beiden Systeme ist. Indessen ist die Methode anwendbar für Werte, die ein ω bis zu 1 besitzen, also innerhalb des praktischen Meßbereiches.

5. Bestimmung der Einzelwerte der logarithmischen Dekremente γ und δ.

Man nimmt zunächst wie oben für die gegebenen Systeme die Resonanzkurve R_1 auf (Fig. 154), wozu die Dämpfungen ω_1, γ_1 und δ_1 gehören, und bestimmt wie oben ω_1, alsdann vergrößert man die Dämpfung des einen Systems δ_1 auf δ_2 z. B. durch Veränderung des Leitungswiderstandes und bestimmt hierfür ebenfalls die Dämpfung und die Parameter X_2, Y_2 u. ω_2. Wenn hierbei $X_2 > X_1$, hat man Y_2 zu korrigieren nach einer der Formeln:

$$Y = Y_1 \left(1 - 5\,\frac{X_1 - X}{X}\right)$$

bei Anwendung eines Elektrometers, und

$$Y = Y_1 \left(1 - 3\,\frac{X_1 - X}{X}\right)$$

bei magnetischem oder thermischem Indikator.

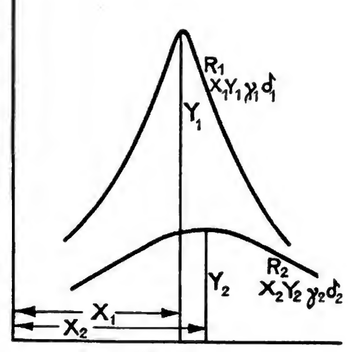


Fig. 154.

Wenn man ω_1 und ω_2 gefunden hat, erhält man die entsprechenden Werte für γ und δ aus den Gleichungen:

$$\gamma_1 = 2\,\frac{Y_1\,\omega_1^{\,2} - Y_2\,\omega_2^{\,2}}{Y_1\,\omega_1 - Y_2\,\omega_2}$$

$$\delta_1 = 2\,Y_2\,\omega_2\,\frac{\omega_2 - \omega_1}{Y_1\,\omega_1 - Y_2\,\omega_2}$$

Digitized by Google

$$\delta_2 = 2\, Y_1\, \omega_1 \frac{\omega_2 - \omega_1}{Y_1\, \omega_1 - Y_2\, \omega_2}$$

Man bekommt mit dieser Methode gute Werte, wenn γ_1 und δ_1 ungefähr gleich groß sind. Extreme Fälle geben unrichtige Werte. Das Resultat lautet: Man bildet das Hilfsdekrement δ_2 durch Vergrößerung des kleinsten und durch Verkleinerung des größten Dekrementes um einen Betrag von der Größenordnung ω.

6. Ermittlung der Jouleschen logarithmischen Dekremente.

Es ist oben gezeigt worden, daß das logarithmische Dekrement im wesentlichen aus zwei Teilen besteht, dem Hertzschen Strahlungsdekrement und dem Jouleschen Erwärmungsdekrement δ_J. Wenn man daher letzteres für ein System kennt, so kann man die Dämpfung eines neuen beliebigen Systems bestimmen, wenn man den neuen Widerstand kennt.

Die Berechnung des Jouleschen Dekrements ist folgende:

Für das Drahtrechteck wird

$$\delta_J = \frac{R \, . \, X}{2L} = \frac{R \, . \, 2\pi \sqrt{CL}}{2L},$$

wo R der Widerstand in Ohm ist. X ist zu rechnen in 10^{-9} Sekunden.

Zwischenrechnung:

Für einen kreisförmig gebogenen Leitungsdraht gilt nach Stefan

$$L = 2l \, . \, ln \frac{4}{\pi e^2} \, . \, \frac{l}{\varrho};$$

hierin ist l die Drahtlänge und ϱ der Drahtradius.

Infolge der Hautwirkung erfahren R und L eine Korrektion, die nach Lord Rayleigh und Stefan ist:

$$P = \sqrt{\pi\, r\, \mu\, l\, X};$$

hierin ist r der Gleichstromwiderstand in Ohm und μ die magnetische Permeabilität.

Korrektionen:

$$L_{\text{korrig.}} = L + \frac{1}{2\pi} \, . \, P$$

$$R_{\text{korrig.}} = \frac{P}{X} + \frac{r}{4}$$

Das Dekrement für das ursprüngliche System sei δ

„ „ „ „ „ „ mit vermehrter Dämpfung sei δ_1.

„ „ „ „ System mit abermals vermehrter Dämpfung sei δ_2;

dann gilt

Digitized by Google

$$Y \cdot \delta(\gamma+\delta) = Y_1 \delta_1 (\gamma+\delta_1) = Y_2 \delta_2 (\gamma+\delta_2)$$
$$\delta_1 - \delta = \eta_1; \; \delta_2 - \delta = \eta_2$$

Hieraus können γ und δ, sowie die Hilfsdekremente δ_1 und δ_2 berechnet werden, vorausgesetzt, daß beide in der Größenordnung übereinstimmen.

Das Resultat hieraus lautet: Bei sehr verschieden gedämpften Systemen bestimmt man das große Dekrement aus dem Ausdruck $\gamma = 2\omega$, das kleine Dekrement aus dem Widerstand nach der Formel

$$\delta = \eta \frac{Y_1}{Y - Y_1}.$$

7. Bestimmung des Intensitätsfaktors.

Bei Anwendung eines Elektrometers als Instrument zur Messung von Y wird die Phasenkonstante

$$\mathfrak{a} = \frac{\pi}{2}$$

in der Nähe des Oszillators, und sie ist $= 0$, wenn man hinreichend weit vom Oszillator entfernt ist. Da $\mathfrak{a}$ in dem Ausdruck für den Intensitätsfaktor nur im Sinusverhältnis vorkommt, fällt beidemal dieses Glied heraus, und man behält übrig:

$$\mathfrak{A} = 8\pi \sqrt{\gamma\delta(\gamma+\delta) \cdot C Y} \cdot X^{-1/2}$$

wo C die Elektrometerkonstante dividiert durch die Anzahl der primären Funken, ist.

Auf Grund der Untersuchungen und Rechnungen von Bjerknes und anderer lassen sich die Ausdrücke für gedämpfte Schwingungen wie folgt zusammenfassen:

Für ungedämpfte Schwingungen gilt der Ausdruck

$$V = V_0 \cdot \sin \nu t$$

Für gedämpfte Schwingungen, d. h. für solche, bei denen pro Schwingung ein gewisser Energiebetrag verzehrt wird, erhält man die Gleichung

$$V = V_0 \cdot \sin \nu t \cdot e^{-\delta}$$

wo

$$\delta = \pi w \sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{w}{2L}$$

ist.

V ist hierin die Spannungs- oder Stromamplitude, V_0 deren Maximalwert, ν ist die Periodenzahl, t die Zeit, w der Ohmsche

Digitized by Google

Widerstand, L die Selbstinduktion und δ der Dämpfungsfaktor, welcher direkt für die Größe der Dämpfung in Betracht kommt, e ist die Basis der natürlichen Logarithmen. Wenn man ferner mit V_1 die Größe der Amplitude zur Zeit t bezeichnet und nach Verlauf der Periode T die Amplitude V_2 vorhanden ist, die bereits gedämpft ist, so erhält man unter Berücksichtigung der obigen Gleichungen

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_0 \sin \nu t \,.\, e^{-\delta t}}{V_0 \sin \nu t \,.\, e^{-\delta (t+T)}} = e^{\delta T}$$

Eine Amplitude verhält sich also zur folgenden wie $e^{\delta T}$, wo T die Schwingungsdauer (oben X genannt) ist. Dieses Verhältnis ist für alle Amplituden, mithin für den gesamten Verlauf der Schwingungen konstant.

Der natürliche Logarithmus dieses Verhältnisses ist δT, das „logarithmische Dekrement", bzw. einfach „Dekrement der betreffenden Schwingung". Man bezeichnet es mit $\mathfrak{d}$, und $\mathfrak{d}$ und δ sind dann durch die Gleichung verbunden: $\mathfrak{d} = \delta T$.

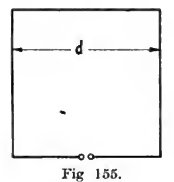


Fig 155.

Bjerknes stellte für einen Resonator nach Fig. 155 den Dämpfungsfaktor wie folgt fest:

Die Selbstinduktion für zwei im Abstand d voneinander ausgespannte Drähte ist, wenn r der Drahtradius des Kupferrechtecks ist:

$$L = 2 \ln \frac{d}{r}$$

Unter Berücksichtigung der Hautwirkung gilt für den Widerstand die Gleichung

$$w = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{\mu \,.\, t}{\sigma}}$$

wo μ die Magnetisierbarkeit $= 1$ ist.

Beide Werte in den Ausdruck für δ eingesetzt, gibt

$$\delta = \frac{1}{2 \,.\, 2 \,.\, r \ln \frac{d}{r}} \sqrt{\frac{\mu t}{\sigma}}$$

Für $d = 60$, $r = 1$, $t = 3 \,.\, 10^8$ und $\sigma \sim 1{,}063 \,.\, 10^{-5} \,.\, 60$ fand Bjerknes $\delta = 0{,}0027$.

Dieser Wert dürfte nach den eigenen Angaben von Bjerknes falsch sein, da die kleinste derartige Dämpfung ca. 0,034× beträgt.

× Bei sehr schwach gedämpften Schwingungskreisen der Hochfrequenztechnik kommt man gegenwärtig bis etwa auf 0,012 herunter, indessen sind bei extrem wenig gedämpften Systemen, wie sie für bestimmte Laboratoriumsanordnungen Anwendung finden können, Dämpfungen bis zu etwa 0,006 möglich.

Digitized by Google

Für den Oszillator schlug Bjerknes folgendes Verfahren ein: Auf eine reflektierende Wand ließ er Schwingungen senkrecht auftreffen und erhielt somit stehende Wellen. Im Falle, daß diese Schwingungen ungedämpft sind, haben die auffallenden und die reflektierten Wellen gleiche Amplituden mit idealen Knotenpunkten. Bjerknes fand nun, daß mit zunehmender Entfernung von der Wand die Dämpfung und damit die Unreinheit der Knotenbildung zunahm. Er spannte darauf ein Drahtsystem aus, das am Ende geschlossen und dessen Länge so bemessen war, daß die Schwingungen sich in dem System totliefen. Es stellte sich heraus, daß bei einer Wellenlänge von $\lambda = 8$ m δ ungefähr $= 0{,}27$ bis $0{,}39$ je nach der Funkeneinstellung war. Dieses große Dekrement $\mathfrak{d} = 0{,}74$, für $\delta = 0{,}3$, bei $T = 2{,}5$ erklärt sich aus der großen Strahlungsdämpfung des angewandten Systems.

Für die Abhängigkeit der Dämpfung von Metallen vom Material fand Bjerknes eine Zunahme von $\mathfrak{d}$ mit dem Widerstand und Magnetismus. Mittels der Elektrometermethode gelangte er zu folgenden Zahlen:

Kupfer	Messing	Neusilber	Platin	Nickel	Eisen
1	1,2	1,39	1,534	1,725	1,866

Demnach dämpft Eisen am meisten, Kupfer am wenigsten. Die Schnelligkeit der Absorption der Metalle nimmt zu mit dem Widerstand und dem Magnetismus.

8. Literatur.

Bjerknes. V. Wied. Ann. 44, p. 74. 1891. (Über die Dämpfung schneller elektrischer Schwingungen. Quadrantelektrometer.) — Wied. Ann. 44, p. 513. 1891. (Über den zeitlichen Verlauf der Schwingungen im primären Hertzschen Leiter.) — Wied. Ann. 47, p. 69. 1892. (Die Resonanzerscheinungen und das Absorptionsvermögen der Metalle für die Energie elekrischer Wellen.) — Wied. Ann. 48, p. 592. 1893. (Das Eindringen elektrischer Wellen in die Metalle und die elektromagnetische Lichttheorie.) — Wied. Ann. 54, p. 58. 1895. (Verschiedene Formen der multiplen Resonanz.) — Wied. Ann. 55, p. 121. 1895. (Über elektrische Resonanz.)

In direktem Anschluß an die Versuche von Bjerknes und unter Anwendung der Bjerknesschen Meßverfahren hat Lagergreen[×] die Strahlung von Oszillatoren und deren Dämpfungen untersucht. Er fand, daß die Strahlungsdämpfung bei offenen Oszillatoren bei weitem das Joule'sche Dekrement überwog (bei stabförmigen Oszil-

[×] Lagergreen Wied. Annalen 64. p. 290, 1898; Stockholm 1902 (Über elektrische Energiestrahlung).

Digitized by Google

latoren gleicher Länge wies der Oszillatorstab größeren Durchmessers ein größeres Strahlungsdekrement als ein Stab kleineren Durchmessers auf) und daß die umgekehrten Verhältnisse für geschlossene Schwingungssysteme gelten. Im allgemeinen gilt nach Lagergreen der Satz, daß die Dämpfung gradliniger Schwingungssysteme unter annähernd gleichen Verhältnissen mehr als zweimal so groß ist als die geschlossener, beispielsweise kreisförmiger oder quadratischer Systeme.

Methode der Dämpfungsmessung von Rutherford.

1. Theorie und Versuchsanordnung.

Rutherford[×] verwandte zur Dämpfungsmessung die Erscheinung der Magnetisierung oder Entmagnetisierung von Stahlnadeln durch die in einem gedämpften Schwingungssystem oszillierenden Ströme. Es zeigt sich, daß die Magnetisierung oder Entmagnetisierung von Stahlnadeln in eisenlosen Spulen, welche in einem Schwingungssystem eingeschaltet sind, proportional ist der Amplitude der Schwingungen. Da die Amplituden nun in ihrer Aufeinanderfolge entgegengesetzt gerichtet sind, vernichtet die eine Amplitude stets die Wirkung der vorhergehenden bis auf einen Differenzbetrag, der um so größer ist, je mehr die Schwingung gedämpft ist. Es ist hieraus ohne weiteres klar, daß die Methode um so empfindlicher ist, je größer die Differenzbeträge sind, und daß daher das Verfahren für schwach gedämpfte Systeme kaum anwendbar ist.

Die praktische Ausnutzung dieser Erscheinung kann nun wie folgt geschehen:

Zwei gleich große, mit entgegengesetztem Richtungssinn gewundene Spulen, deren Selbstinduktionsbeträge klein sind im Verhältnis zu den übrigen im Schwingungssystem vorhandenen Beträgen, werden in einem Schwingungssystem in Serie geschaltet. Es sei in die Spulen je eine magnetisierte Nadel oder an Stelle dieser je ein Bündel von sehr dünnen Stahldrähten (etwa 0,076 mm ϕ) eingelegt, so zwar, daß die Nordpole dieser Nadeln nach derselben Seite zeigen. Wenn man nun das System erregt und hierauf die Feldstärke der vorher gleich stark magnetisierten Nadeln feststellt, findet man, daß die eine Nadel jetzt stärker magnetisiert ist, als die andere, und zwar sind die erzielten Unterschiede proportional den Differenzen der Amplituden, da die Amplituden der zweiten Spule anders gerichtet sind, als die der ersten.

× Rutherford Trans. Roy. Soc., Juni 1896. Phil. Trans., 189. A. p. 12. 1897.

Digitized by Google

In Fig. 156 sind die Feldamplituden entsprechend der Einwirkung der Schwingungen auf die Nadeln A und B zum Ausdruck gebracht.

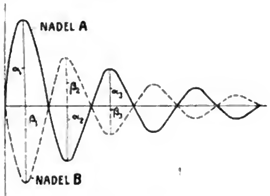


Fig. 156.

Die α-Werte beziehen sich auf die Nadel A, die β-Werte auf die Nadel B. Man erhält auf diese Weise zwei verschieden stark magnetisierte, bzw. entmagnetisierte Nadeln, deren Feldstärken mit einem Magnetometer festgestellt werden können. Aus der Abnahme der Feldstärken erhält man somit die Amplitudenverhältnisse und daraus die Dämpfung. Das gilt aber nur unter der Voraussetzung, daß die magnetisierende oder entmagnetisierende Kraft der Stromstärke entspricht. Da dieses praktisch nicht genau zutrifft, wird folgende Methode angewandt:

Die Windungszahl der einen Spule wird so lange variiert, bis die Magnetisierung oder Entmagnetisierung beider Nadeln übereinstimmt.

Wenn J_1 und J_2 die Stromstärken in der ersten und zweiten Halbperiode sind (entsprechend α_1 und α_2) und n_1 und n_2 die Windungszahlen pro 1 cm von Spule A und B sind, hat man die Beziehungen:

$$4\pi n_1 J_1 = 4\pi n_2 J_2$$

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Man kennt somit das Verhältnis der Amplituden und damit auch die Dämpfung; man erhält also, wenn mit $\mathfrak{d}$ das Dekrement bezeichnet wird:

$$\mathfrak{d} = 2 \ln \frac{n_2}{n_1}$$

Die genannten Methoden sind immerhin ziemlich umständlich. Es wurde daher schon von Rutherford eine Anordnung angegeben, die den praktischen Bedürfnissen mehr entspricht. Diese ist in Fig. 157 schematisch dargestellt.

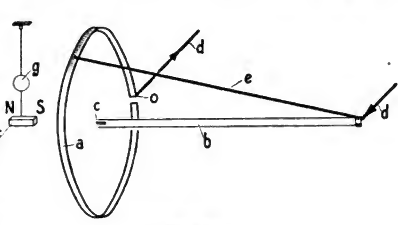


Fig. 157.

a ist ein dünnes, kreisförmig gebogenes, an einer Stelle aufgeschnittenes Blech aus gut leitendem Material,

Digitized by Google

welches außen mit einer Teilung versehen ist. Das Blech wird mittels eines Hartgummiklotzes gehalten. In der Mitte von *a* ist eine Glasröhre *b* angeordnet, die in ihrem vorderen, offenen Teile etwa 30 durch Schellack voneinander isolierte, hartgezogene Stahldrähte *c* von je 0,076 mm ϕ, die den magnetischen Detektor bilden und die leicht herausnehmbar sind, enthält. *d* sind Stromzu-, bzw. -abführungen, *e* ist ein beweglicher Leiter, der die auf *a* angebrachte Skala bestreicht und im übrigen mit *a* guten Kontakt machen muß. Vor der Spule *a* ist ein Magnetometer *f* mit Spiegel *g* aufgestellt, um stets die Feldstärke des kreisförmigen Leiters *a* feststellen zu können.

Die Wirkungsweise der Anordnung ist folgende:

Die Leiter *d* werden mit dem Schwingungskreise verbunden, d. h. mit der Kapazität in Serie geschaltet. Bei Erregung wird auf die Nadel *c* keine Wirkung ausgeübt, wenn *e* am Punkte *0* steht, weil dann kein Feld vorhanden ist. Sobald jedoch *e* bewegt wird und in eine andere Stellung kommt, wird *c* mehr oder weniger entmagnetisiert, entsprechend der jeweiligen Stellung des Bügels *e*. Die in jedem Punkte vorhandene Feldstärke $\mathfrak{H}$ im Innern von *a* hängt ab von der Bogenlänge *l*, der Stromstärke *i* und dem Radius *r* nach dem Ausdruck:

$$\mathfrak{H} = \frac{l \cdot J}{r^2}$$

Angenommen ist bei diesem Vorgehen, daß die Nadel *c* durch die schnellen Schwingungen nicht völlig entmagnetisiert wird; die Entmagnetisierung darf vielmehr nicht unter die Hälfte der magnetischen Feldstärke herabgehen, da andernfalls eventuell eine Ummagnetisierung nicht ausgeschlossen erscheint.

Die Dämpfungsbestimmung ist mit obiger Einrichtung sehr einfach. Man geht wie folgt vor:

Man läßt die Entladungen in einer Richtung durchgehen und bestimmt mittels des Magnetometers die Ablenkung. Darauf entfernt man die Detektornadel, magnetisiert sie auf ihren früheren Betrag[×] und bringt sie in die alte Stellung im Detektor. Darauf wird die Entladungsrichtung umgekehrt und *e* so weit bewegt, bis der Magnetometerausschlag derselbe ist wie vorher. Sobald das erreicht ist, ist das Verhältnis

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1}, \text{ bzw. } \frac{\beta_2}{\beta_1}$$

[×] Wie diese Magnetisierung stattzufinden hat, ist in dem die Versuche von Brooks betreffenden Abschnitt angegeben.

Digitized by Google

bestimmt durch das Verhältnis der Bogenlängen, d. h. direkt an der Skala ablesbar.

2. Versuche von Rutherford über die Abhängigkeit der Dämpfung von der Funkenlänge.

Untersucht wurde ein rechtwinklig gebogener Erregerkreis, dessen Seitenlängen 184 cm und 90 cm betrugen. Die Selbstinduktion des Kreises war 7400 elektrostatische Einheiten, die Kapazität 2000 elektrostatische Einheiten. Die Frequenz betrug 125×10^6. Bei verschiedener Funkenlänge ergaben sich unter Konstanthaltung der sonstigen Verhältnisse die Dämpfungs- und Widerstandswerte, die in der nachstehenden Tabelle und in Fig. 158 eingetragen sind.

Länge des Funkens in mm	$\frac{\alpha_2}{\alpha_1}$	$\frac{1}{\frac{\alpha_2}{\alpha_1}} = A$	$\mathfrak{d} = 2 ln A$	Widerstand in Ohm
0,6	0,98	1,02	0,039	$\times$
1,2	0,97	1,032	0,064	1,1
2,4	0,93	1,075	0,145	2,6
3,7	0,90	1,1	0,191	3,7
4,9	0,79	1,267	0.426	8,4
6,1	0,70	1,43	0,718	12,4

Von den Widerstandswerten in Spalte 5 sind pro Wert 0,4 Ohm abzuziehen als konstanter Betrag für Leitungs- und Strahlungswiderstand. Der übrige Betrag geht allein auf die Funkenstrecke, bei welcher zwar der Widerstand eine komplizierte, variable Größe darstellt, nicht aber der Energieverlustbetrag, der annähernd konstant ist.

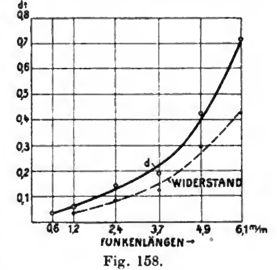


Fig. 158.

Aus obigen Resultaten ist zu entnehmen, daß der Widerstand und die Dämpfung der Funkenstrecke sehr schnell mit der Länge der Funkenstrecke wächst, und zwar nimmt, wie auch aus neueren Versuchen hervorgeht, die Dämpfung schneller zu bei verhältnismäßig kleinen Kapazitäten als bei großen Kapazitätswerten.

Ferner hängt die Dämpfung von der Kapazität des Schwingungskreises direkt ab, während Selbstinduktion und Funkenlänge kon-

Digitized by Google

stant bleiben, und zwar steigt nach Messungen von Rutherford die Dämpfung und der Widerstand mit zunehmender Kapazität. In nachfolgender Tabelle sind die diesbezüglichen Werte zusammengestellt:

Kapazität in cm	$\frac{\alpha_2}{\alpha_1}$	Widerstand in Ohm	$\frac{1}{\frac{\alpha_2}{\alpha_1}} = A$	$\mathfrak{d} = 2 l n A$
1000	0,94	2,2	1,064	0,1240
2000	0,90	2,6	1,11	0,209
4000	0,81	3,8	1,235	0,570

Diese Zunahme des Widerstandes mit größer werdender Kapazität findet nach anderen Messungen, die neuerdings angestellt wurden, nicht statt. Es hat sich vielmehr gezeigt, daß der Funkenwiderstand mit wachsender Kapazität abnimmt.[×]

3. Dämpfungsmessungen mittels des Rutherfordschen Magnetdetektors von Miss Brooks.[××]

1. Versuchsanordnung und Arbeitsweise.

Die im folgenden wiedergegebenen Dämpfungsmessungen sind mittels des Rutherfordschen Magnetdetektors ausgeführt worden unter Vermeidung einiger Fehlerquellen, die die Rutherfordschen Resultate bis zu einem gewissen Grade beeinflußt haben. Hierbei wurde der Magnetdetektor direkt in den Schwingungskreis eingeschaltet, wie dies in Fig. 159 dargestellt ist.

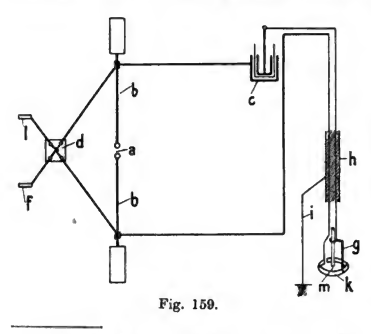


Fig. 159.

Es bezeichnet: *a b c* den Schwingungskreis, dessen Drahtabmessungen ungefähr 145×125 cm waren. Die Selbstinduktion dieses Schwingungssystems betrug 10000 cm, die Kapazität war = 2500 cm. Die Erregung des

× Rempp, Ann. d. Phys. 17, p. 627. 1905.

×× Phil. Mag. (6) II, p. 92. 1901 (mitgeteilt von Prof. E. Rutherford).

Schwingungssystems erfolgte mittels einer Wimshurstschen Maschine, deren Konduktoren *l f* schematisch angedeutet sind. Die Entladungsrichtung konnte mittels eines Schalters *d* umgekehrt werden. Um nun, was wesentlich ist, eine Beeinflussung des Magnetdetektors *g* durch die Schaltungsdrähte zu vermeiden, waren vom Schwingungssystem aus zwei isolierte Drähte in nahem Abstande voneinander parallel geführt und mittels einer Röhre *h*, die im Innern mit Paraffin ausgegossen war, zusammengehalten; der Mantel der Röhre war außen mit einer Belegung versehen, die geerdet war. Durch diese Anordnung war die Sicherheit vorhanden, daß nur das magnetische Feld des aus Messing hergestellten Kreises *k* auf die Detektornadel *m* einwirkte. Letztere war selbstverständlich keine einfache Nadel, sondern bestand vielmehr aus 55 hartgezogenen Stahldrähten von je 0,015 mm ϕ, die mittels Paraffin voneinander isoliert waren. Die Länge des Drahtbündels betrug 1,5 cm.

Der Gang der Versuche war folgender:

In einem Solenoid mit Eisenkern, der bis zu einer gewissen Höhe reichte, wurde bei Stromdurchgang das Nadelbündel bis zur Sättigung magnetisiert, indem in ganz bestimmter Lage das Bündel gegen das Eisen gepreßt wurde. Da der Eisenkern mit dem Solenoid starr verbunden war, konnte die Lage des Bündels stets wiedergefunden werden, so daß auch dieselbe Magnetisierung beliebig oft wieder erreicht werden konnte. Die auf diese Weise magnetisierte Nadel wurde darauf in den Detektor eingeführt, und es wurde die nun entstehende Ablenkung des vor dem Detektor aufgestellten Magnetometers durch einen Magneten kompensiert, so daß die Magnetometernadel auf Null stand.

Es wurde darauf bei Erregung des Schwingungssystems die Ablenkung beobachtet und, nachdem dies geschehen war, die Nadel aus der Vorrichtung herausgenommen, neu magnetisiert und wieder in den Detektor eingesetzt und die Ablenkung bei Umkehr der Entladungsrichtung festgestellt, d. h. es wurde der drehbare Arm des Magnetdetektors so lange gedreht, bis derselbe Ausschlag des Magnetometers vorhanden war, wie bei der früheren Richtung des Stromdurchgangs. Sobald dies der Fall war, hatte man das Verhältnis der maximalen Amplituden der ersten und zweiten Halbschwingung, welches gegeben war durch das Verhältnis der beiden Magnetometerbogen, die zu diesem Zwecke, wie schon früher angegeben, zweckmäßig mit einer Skala versehen waren.

Die Entmagnetisierung der Nadel ist annähernd proportional der magnetischen Kraft des Detektorringes *k*, bezogen auf die Kreis-

Digitized by Google

bogenlänge vom Anfangspunkt bis zum jeweiligen Berührungspunkte des Kontaktarmes g mit k, wobei zu beachten ist, daß die Nadel nicht unter die Hälfte ihrer Entmagnetisierung entmagnetisiert werden darf. Diese wesentliche Forderung wurde bei den folgenden Messungen stets berücksichtigt. Ferner wurde bei sehr großem Strom der Magnetdetektorkreis in Nebenschluß zu dem Hauptschwingungssystem gelegt. Versuche haben gezeigt, daß diese Nebenschlußschaltung in qualitativer Beziehung ohne Einfluß ist.

Bei den Versuchen wurde fernerhin berücksichtigt, daß so viel Entladungen durch den Detektor hindurchgelassen wurden, bis der Ausschlag des Magnetometers konstant war, d. h., bis die Nadel entsprechend den durchgegangenen Schwingungen bis auf einen konstanten Wert herunter entmagnetisiert war.

Um eine Erleichterung der Reduktion der Amplitudenverhältnisse $\left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\right)$ direkt auf die Dekrementwerte ($\mathfrak{d}$) herbeizuführen, wurde das in Fig. 160 wiedergegebene Diagramm gezeichnet. Es wurden

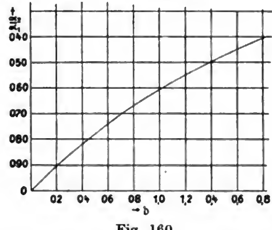


Fig. 160.

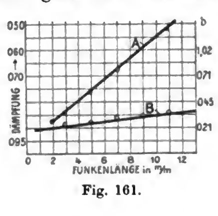


Fig. 161.

hierbei für $\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = 0{,}90,\ 0{,}80$, usw. die betreffenden Werte von $\mathfrak{d}$ berechnet und eingetragen. Die Kurve zeigt einen schwach gekrümmten Verlauf gegen die X-Achse.

2. Versuche.

Es wurden mit den beschriebenen Einrichtungen folgende Versuche angestellt:

A. Abhängigkeit der Dämpfung von der Funkenlänge.

Das Bild der Resultate gibt Fig. 161. Als Abszissen sind die Funkenlängen in Millimetern aufgetragen. Als Ordinaten sind die Dämpfungen, d. h. die Werte $\frac{\alpha_2}{\alpha_1}$ (Fig. 158 des Abschnittes Rutherford) also die Verhältnisse von zwei aufeinanderfolgenden, ent-

Digitized by Google

gegengesetzt gerichteten Amplituden aufgetragen. Kurve *A* gilt für einen Kreis mit einer Kapazität von $0{,}806 \times 10^{-3}$ MF und Kurve *B* für eine Kapazität von $2{,}778 \times 10^{-3}$ MF. Rechts im Diagramm sind die Zahlen für die Dekrementwerte $\mathfrak{d}$ eingetragen.

Die Kurven zeigen (im Gegensatz zu Rutherford), daß die Dämpfung gleichförmig mit der Funkenlänge wächst, daß aber das Anwachsen bei relativ kleiner Kapazität rascher erfolgt als bei großer Kapazität.

Bei den Kurven ist ferner zu beachten, daß die Widerstands- und Strahlungsdämpfung durch die Zuleitungen in den erhaltenen Werten enthalten ist. Nach den Rechnungen von Brooks ergibt sich für diese Dämpfung indessen nur

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = 0{,}985, \text{ also } \mathfrak{d} \text{ ungefähr} = 0{,}036.$$

Diese Kurven *A* und *B* sind zu vergleichen mit der Fig. 158 des Abschnittes Rutherford. Während bei Rutherford die Dämpfungskurve einen hyperbolischen Charakter besitzt, sind hier die Kurven *A* und *B* nahezu geradlinig. Vermutlich sind bei Rutherford die Versuchsbedingungen keine völlig einwandfreien gewesen, so daß die Nadel beispielsweise durch die magnetische Wirkung der Schaltungsdrähte beeinflußt wurde.

B. Abhängigkeit der Dämpfung vom Widerstand.

In das Schwingungssystem wurde ein variabler, berechenbarer (geeichter) elektrolytischer Widerstand, bestehend aus Zinksulfatlösung mit Zinkelektroden, eingeschaltet und die entsprechenden Ausschläge am Detektormagnetometer beobachtet. Rechnerisch findet man

$$\delta = e^{-\frac{R + r_0}{2L} \cdot \frac{T}{2}}$$

wo R der „Funkenwiderstand" und r_0 der bekannte elektrolytische Widerstand ist. Für zwei bekannte Werte r_0 läßt sich also R berechnen. In der in Fig. 162 gezeichneten Kurve sind die berechneten Werte durch kleinere Kreise, die experimentell gefundenen Werte durch größere Kreise gekennzeichnet. Aus dem Kurvencharakter geht hervor, daß die Dämpfung schneller zunimmt als der Widerstand.

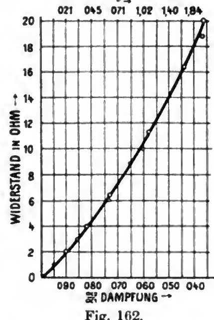


Fig. 162.

Die diesbezüglichen Versuche zeigten

ferner, daß innerhalb des untersuchten Bereiches die Dämpfung nahezu unabhängig war vom Durchmesser des Leitungsmaterials. Es fand mit abnehmendem Durchmesser, entsprechend dem Ohmschen Gesetz, nur eine sehr geringe Vergrößerung des Dekrementse statt.

Sobald an Stelle des Kupfers als Leitungsmaterial Eisendraht verwandt wurde, stieg die Dämpfung beträchtlich. Bei 11 mm Funkenlänge und einem Eisendraht von 7 mm war

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = 0{,}72, \text{ also } \mathfrak{d} = 0{,}66,$$

während Kupferdraht von demselben Durchmesser und bei den gleichen Verhältnissen

$$\frac{\alpha_2}{\alpha_1} = 0{,}85, \text{ also } \mathfrak{d} = 0{,}32$$

ergab. Sobald geringere Eisendrahtdurchmesser angewandt wurden, stieg die Dämpfung wesentlich:

Eisendrahtdurchmesser in mm:	0,50	0,65	1,2	2,0
$\mathfrak{d}$:	0,70	0,66	0,48	0,40

Wenn die Eisendrähte mit einem dünnen Kupferüberzug versehen wurden, war die Dämpfung auf Werte herabgesetzt, die ungefähr denjenigen für massives Kupfer entsprachen.

C. Abhängigkeit der Dämpfung von der Kapazität.

Zu der Kapazität C, Fig. 159, wurden verschiedene Flaschen parallel geschaltet, derart, daß sich Kapazitätswerte (in cm) ergaben, wie sie in Fig. 163 als Abszissenbeträge notiert sind. Um kleine Kapazitätswerte zu schaffen, wurde ein variabler Hartgummikondensator angewandt, dessen Kapazität durch Nähern oder Entfernen der Belegungen verändert werden konnten.

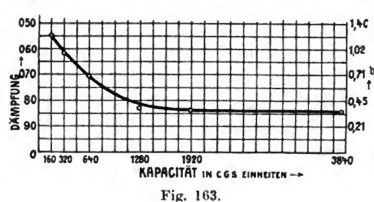


Fig. 163.

Die Versuchsresultate zeigt Fig. 163, aus denen hervorgeht, daß von einer gewissen Grenze an (etwa von 1000 cm) die Dämpfung ziemlich konstant bleibt. Der Einfluß der Funkendämpfung ist mithin, wie auch hieraus folgt, um so größer, je kleiner die Kapazität ist.

Digitized by Google

D. Abhängigkeit der Dämpfung vom Druck und der Beschaffenheit bei Anwendung verschiedener Gase.

Von Interesse war die Untersuchung der Wirkung atmosphärischer Luft in verschieden gespanntem Zustande auf die Dämpfung der Funkenstrecke. Um derartige Versuche anstellen zu können, war die Funkenstrecke in einem mit einer Luftpumpe verbundenen Glasgefäße angeordnet. Es wurde hierbei mit durchaus trockener Luft gearbeitet, und es zeigte sich, daß die Dämpfung mit zunehmendem Druck kleiner wurde.

Ferner wurde an Stelle von Luft Wasserstoff, Kohlensäure usw. eingeführt, wobei festgestellt wurde, daß bei Verwendung anderer Gase als Luft, wie z. B. beim Wasserstoff, die Dämpfung sehr abnahm.

In Fig. 164 sind die Versuchsresultate wiedergegeben, und zwar bezieht sich die Kurve C auf atmosphärische Luft, die Kurve D auf Wasserstoff. Die Funkenlänge war bei diesen Versuchen 10 mm bei Luft, 30 mm bei Wasserstoff. Dementsprechend ergibt in Wirklichkeit die Wasserstoffkurve, im Verhältnis genommen, noch bedeutend günstigere Werte, als gezeichnet ist (vgl. auch Fig. 161).

Fig. 164.

Miß Brooks stellte schließlich noch Versuche über den sogenannten „kritischen Druck" in der Funkenstrecke an. Sie fand, daß abhängig von der Natur der Gase und von der Funkenlänge unterhalb einer gewissen Grenze die Dämpfung der Funkenstrecke erheblich zu wachsen beginnt, derart, daß schließlich der Widerstand so groß wird, daß keine Entladung in der Funkenstrecke mehr stattfindet.

Neuere Untersuchungen[×] haben gezeigt, daß Funkenstrecken, die kleiner als 2 mm sind, verhältnismäßig stärker dämpfen.

---

4. Methode der Dämpfungsmessung nach Zenneck mittels der Kathodenröhre.

Die Methode von Zenneck[××] beruht auf der Anwendung der Braunschen Kathodenröhre derart, daß nicht die Schwingungskurve aufgenommen wird, sondern daß die elektrischen Schwingungen

× Siehe S. 212.

×× Zenneck, Ann. d. Phys. 7. p. 801. 1902, (Verfahren, um die Dämpfung elektrischer Schwingungen sichtbar zu machen.)

Digitized by Google

des Kreises, dessen Dämpfung gemessen werden soll, auf das Kathodenstrahlenbündel der Röhre einwirken. Man erhält auf diese Weise auf dem Schirm der Röhre einen mehr oder weniger breiten Streifen mit helleren Stellen *abcde* usw. (Fig. 166), die den Scheitelpunkten der Schwingungskurve entsprechen. Die Größen der Abstände dieser hellen Stellen von der Nullinie geben direkt ein Maß der Abnahme der Amplituden und damit der Dämpfung. Diese Methode, die im Gegensatze zu anderen noch ungefähr bis zu Wechselzahlen von 10^6 pro Sek. anwendbar ist, hat den weiteren Vorteil, daß man alle im Schwingungskreise auftretenden Störungen sofort wahrnehmen kann, indem bei jeder zeitlichen Verschiedenheit der Schwingungen Unregelmäßigkeiten in dem Auftreten der Lichtpunkte bemerkbar werden.

Die Versuchsanordnung ist in verschiedener Weise möglich, indem man entweder die elektrische oder die magnetische Ablenkung der Kathodenstrahlen benutzt. Nach Zenneck gibt zwar die magnetische Ablenkung leichter scharfe Aufnahmen, sie leidet aber an dem Übelstande, daß die zur magnetischen Ablenkung in den Schwingungskreis einzufügenden Spulen die Frequenz verändern. Das kann vermieden werden, wenn man einem Vorschlage von Varley entsprechend die Braunsche Röhre zwischen Kathode und Diaphragma mit feuchtem Tuch oder Papier umgibt.

Zweckmäßiger ist wohl die elektrische Ablenkung der Kathodenstrahlen, wie z. B. Fig. 165 zeigt. Zu diesem Zwecke sind an den Schwingungskreis unter Zwischenschaltung von großen Widerständen *KL* zwei kleine Kondensatorplatten *MN* angeschlossen, zwischen denen die Röhre angeordnet ist. Eventuell kann es zweckmäßig sein, eine der Platten *M* oder *N* zu erden.

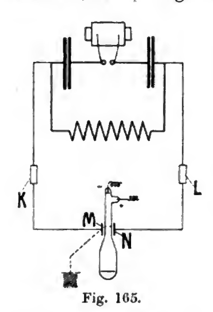


Fig. 165.

In Fig. 166 ist schematisch eine Aufnahme und eine ihr entsprechende Schwingungskurve wiedergegeben. Die Lichtpunkte *abcde* entsprechen den Amplituden der Schwingungskurve; an diesen Punkten findet eine Umkehr der Bewegung der Kathodenstrahlenbündel statt, und das hierdurch bedingte längere Verweilen an diesen Stellen ruft die Lichtflecke hervor.

Die Figur zeigt, daß die Amplituden schneller, als einer Exponentiallinie entsprechen würde, abnehmen.

Digitized by Google

Für kleinere Wechselzahlen gibt die Methode schärfere und hellere Bilder als für hohe Frequenzzahlen.

Für geringe Dämpfungen ist die Methode nicht anwendbar, da die Lichtpunkte zu nahe aneinanderrücken. Hierbei kann man sich nur dadurch helfen, daß man die magnetische Methode an-

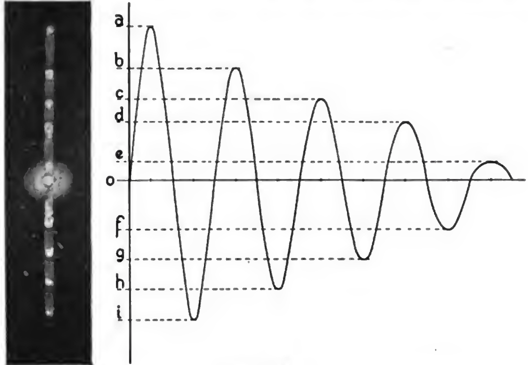


Fig. 166.

wendet, und daß man durch mit Gleichstrom gespeiste Spulen den Lichtpunkt so nach einer Seite des Schirmes verlegt, daß der gesamte Bereich des Schirmes für die Schwingungen nach einer Seite hin zur Verfügung steht. Auf diese Weise werden die Ausschläge zwar nur nach einer Seite hin erhalten, erscheinen aber in doppelter Größe.

5. Dämpfungsmeßmethode für Schwingungssysteme ohne Funkenstrecke nach Tallqvist.

Tallqvist[×] hat eine Methode angegeben, um die Dekremente von stark gedämpften Systemen ohne Funkenstrecke zu ermitteln, und insbesondere, um die Abhängigkeit des Dämpfungsdekrements

× Tallqvist, Ann. d. Phys. 9, p. 1083. 1902. (Über die oszillatorische Entladung eines Kondensators bei größerem Werte des Widerstande des Stromkreises.)

Digitized by Google

als Funktion des Widerstandes festzustellen. Tallqvist fand bei punktweiser Aufnahme der Schwingungskurve, daß sowohl hinsichtlich der Zunahme der Schwingungsdauer mit dem Widerstande, wie auch der Abhängigkeit des Dekrements vom Widerstande die Versuchsresultate mit den theoretisch gefundenen Ergebnissen gut übereinstimmen.

Die Versuchsanordnung gibt Figur 167 wieder. Der Hauptkreis besteht aus dem Kondensator C, dem Widerstand W und der Selbstinduktion L. Der Ladekreis, der ebenfalls von den Kondensatorplatten C abgezweigt ist, setzt sich aus dem Widerstand w und dem Akkumulator E zusammen. A ist ein biegsames Kabel, B und D sind Quecksilbernäpfe, F ist ein Galvanometer. Je nach der Lage von A ist F entweder mit dem Kondensator verbunden oder von diesem abgeschaltet. Der Hauptkreis und der Ladekreis sind mit je einem Kontakt g und H eines Helmholtzschen Doppelunterbrechers J versehen, und zwar ist die Anordnung so getroffen, daß H fest und g beweglich ist. Auf diese Weise kann bequem die Dauer des Stromdurchganges reguliert und bestimmt werden.

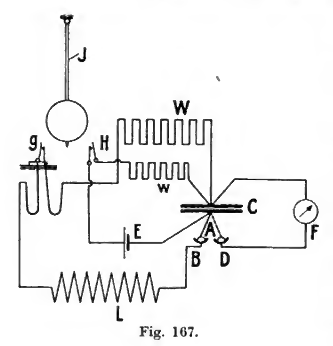


Fig. 167.

Das Vorgehen bei den Versuchen war folgendes:

Die Doppelkontakte g und H waren geschlossen, und A machte mit B Kontakt. Durch das System $EHwCWgLBACE$ fließt sodann ein Strom, und der Kondensator C erhält eine Ladung. Bei Betätigung des Pendels, also bei Öffnung von H, findet eine Entladung des Kondensators durch den Kreis $CWgLBAC$ statt. Nach einer gewissen, genau feststellbaren Zeit wird g betätigt und der Ladungsrest mittels des Galvanometers F gemessen. Dieser Ladungsrest gibt einen Punkt der Kurve, wobei die Zeit als Abszisse und der entsprechende Ladungsrest als Ordinate aufgetragen wird. Die Gesamtladung des Kondensators C erhält man dadurch, daß bei geschlossenem Kreise die Kontakte H, g, die vorher nicht geschlossen waren, durch das Pendel J betätigt werden.

Als Resultat der Untersuchungen, die hier nicht ausführlich

Digitized by Google

wiedergegeben werden können, fand Tallqvist, daß sowohl hinsichtlich der Zunahme der Schwingungsdauer mit dem Widerstande, wie auch des Dekrements als Funktion des Widerstandes bei großen Widerstandswerten im Schwingungssystem sich die theoretischen, nach Thomson-Kirchhoff, gefundenen Werte mit den experimentell sich ergebenden Werten gut decken, daß mithin die Thomson-Kirchhoffschen Formeln direkt angewendet werden können.

---

6. Messung der Dämpfung nach Drude.

Die theoretischen Betrachtungen Drudes[×] setzen an zwei Punkten der Bjerknesschen Theorie an, nämlich den Fragen erstens, welcher Einfluß ausgeübt wird, wenn die Kapazität zur Variation der Periodenzahl geändert wird, während die Selbstinduktion des Primärsystems konstant bleibt und zweitens, ob nicht eine Vereinfachung der Rechnung eintritt, wenn zu der von Bjerknes benutzten Resonanzkurve und dem Integraleffekt noch die maximale Amplitude in die Betrachtung hineingezogen wird. Für die experimentelle Bestimmung der Maximalamplitude schlägt Drude vor, die Funkenschlagweite oder die Ablenkungen der Kathodenstrahlen in einer Braunschen Röhre zu benutzen.

Es bezeichnet im folgenden:

ν_1 die Frequenz des Primärsystems,
ν_2 die Frequenz des Sekundärsystems,
T_1 die Schwingungsdauer des Primärsystems,
T_2 die Schwingungsdauer des Sekundärsystems,
δ_1 die Dämpfung des Primärsystems,
δ_2 die Dämpfung des Sekundärsystems,
$\gamma_1 = \delta_1 T_1 (= \mathfrak{d}_1)$ das Dekrement des Primärsystems,
$\gamma_2 = \delta_2 T_2 (= \mathfrak{d}_2)$ das Dekrement des Sekundärsystems.

Es gilt für den Integraleffekt ebenso wie für den Maximaleffekt die Gleichung:

$$\nu_1 = \nu_2 (1 + \zeta)$$

× Drude, Ann. d. Phys. 13, p. 525 ff. 1904. (Über induktive Erregung zweier elektrischer Schwingungskreise mit Anwendung bei Perioden- und Dämpfungsmessung.)

Digitized by Google

ζ ist ein Parameter, der dem Buchstaben S bei Bjerknes entspricht. Für den im Sekundärsystem auftretenden Effekt E gilt die Beziehung:

$$E = P(1 + a\zeta - b\zeta^2)$$

Das Maximum von E ist vorhanden, wenn

$$\zeta_m = \frac{a}{2b}$$

und man hat dann

$$E_m = P\left(1 + \frac{a^2}{4b}\right)$$

Der Wert b ist aus der Resonanzkurve berechenbar, wenn man den Primärkreis in Frequenzen oder Wellenlängen eicht. Es besteht dann nämlich die Beziehung:

$$\frac{E_m - E}{E_m} = b\,\eta_2$$

Der Wert von b ist um so größer, je steiler die Resonanzkurve ist; er hängt ab von den Dekrementen $\mathfrak{d}_1$ und $\mathfrak{d}_2$.

Die Betrachtung der Resonanzkurve im Zusammenhang mit dem Maximal- und Integraleffekt liefert den genauen Wert der Frequenz ν_2 und die Dekremente $\mathfrak{d}_1$ und $\mathfrak{d}_2$. Hierzu führen folgende zwei Untersuchungen:

1. Die Maximalamplitude.

Die Kapazität des Primärsystems wird geändert, dann erhält man nach mehrfachen Umrechnungen:

$$\nu_1 = \nu_2(1 + \zeta_m) = \nu_2\left(1 - \frac{1 + \frac{2\delta}{\delta_1 - \delta_2}\left(1 - \frac{\delta_2}{\delta_1 - \delta_2}\log\frac{\delta_1}{\delta_2}\right)}{2b}\right)$$

$$\frac{1}{2}\left(\frac{\delta_1 - \delta_2}{\nu_2}\right)^2 = \frac{1}{2}\left(\frac{\mathfrak{d}_1 - \mathfrak{d}_2}{2\pi}\right)^2$$

$$a = -\frac{\delta_2\,\delta}{\delta_1(\delta_1 + \delta_2)}$$

$$b = \left(\frac{\nu_2}{\delta_1 + \delta_2}\right)^2 = \left(\frac{2\pi}{\gamma_1 + \gamma_2}\right)^2$$

worin δ der Änderungskoeffizient ist, der von δ_1 und ν_1 abhängt.

Digitized by Google

2. Der Integraleffekt.

Man erhält hierfür:

$$J = \int_0^\infty i_2^2\,dt = p^2_{21} \cdot F^2 \frac{\nu_1^4}{4} C_2^2 \frac{\delta_1 + \delta_2}{\delta_1\,\delta_2} \cdot \frac{1}{(\nu_1 - \nu_2)^2 + (\delta_1 + \delta_2)^2}$$

$$b = \left(\frac{\nu_2}{\delta_1 - \delta_2}\right)^2 \left(1 - \delta_1\,\delta_2 \left(\frac{\log \delta_1/\delta_2}{\delta_1 - \delta_2}\right)^2\right)$$

Wenn die Kapazität C_1 im Primärkreise geändert wird, gilt

$$\nu_1 = \nu_2 \left(1 + \zeta_m\right) = \nu_2 \left(1 - \frac{\delta_2\,\delta\,(\delta_1 + \delta_2)}{2\,\delta_1\,\nu_2^2}\right).$$

Man kann somit durch Kombination der Beobachtung der Resonanzkurve, des Integraleffektes und des Maximaleffektes die logarithmischen Dekremente $\mathfrak{d}_1$ und $\mathfrak{d}_2$ einzeln berechnen.

Wenn man daher die Dekremente gefunden hat, kann man aus den aus beiden Effekten erhaltenen „Resonanzfrequenzen" (nach den beiden Formeln für ν_1) den Änderungskoeffizienten δ, bzw. ν_2 berechnen.

Schon Zenneck [×] hat auf die Mängel der vorstehend beschriebenen Erweiterungen des Bjerknesschen Verfahrens hingewiesen, indem die Braunsche Röhre für die in der drahtlosen Telegraphie angewandten Wechselzahlen nicht mehr anwendbar ist, bzw. die Abhängigkeit zwischen Maximalamplitude und Schlagweite nicht bekannt ist. Das von Bjerknes gegebene Verfahren genügt, wie die Arbeiten von Rempp, Tissot und anderen beweisen, für die wissenschaftlichen Untersuchungen vollkommen; für praktische Bedürfnisse sind Tabellen, bzw. Eichnormale, wie sie z. B. von Hahnemann und Fleming aufgestellt wurden, das bisher allein Brauchbare.

---

7. Dämpfungsmessungen an mit Funkenstrecke erregten Kondensatorkreisen von Rempp. [××]

1. Einleitung.

Die Untersuchungen von Rempp beziehen sich auf die praktisch das meiste Interesse verlangenden, geschlossenen Schwingungssysteme, die mittels einer Funkenstrecke erregt werden. Die Re-

× Zenneck, Physik. Zeitschrift 5, p. 590. 1904. „Theorie und Praxis in der drahtlosen Telegraphie."

×× Rempp, Ann. d. Physik 17. p. 627, 1905. (Erweiterung der Straßburger Diss. 1904).

Digitized by Google

sultate dieser Versuche werden dadurch begrenzt, daß bei den Versuchsanordnungen lediglich Leydener Flaschen aus Flintglas in Betracht kommen, wobei ferner absichtlich der Widerstand des Schwingungssystems auf ein Minimum herabgesetzt war; die damit erzielten Resultate erfahren außerdem insofern eine Korrektion, als bei größeren Funkenlängen die Flaschen des Primärsystems stark belastet, bzw. überlastet waren, so daß vermutlich ein starker Strahlungsverlust vorhanden war. Die diesbezüglichen Dekrementswerte, welche in Fig. 169 und auch in Fig. 172 wiedergegeben sind, sind demgemäß zu berichtigen. Schließlich wurden, was allerdings nicht von großer Wichtigkeitist, nur sogenannte einfache Zinkfunkenstrecken angewendet, bei denen die Funkenlänge genau ablesbar war und innerhalb weiter Grenzen verändert werden konnte.

Die Grundlage für die Versuche bildete dic Bjerknessche Resonanzmethode, bei der ein Erregersystem *K*, dessen Gesamtdämpfung bestimmt werden sollte, in sehr loser Kopplung auf ein Resonanzsystem *R* mit variablem Luftkondensator arbeitete. Das Resonanzsystem war mit einem Meßbolometerkreise *M*, der die zur Dämpfungsbestimmung erforderlichen Werte lieferte, lose gekoppelt.

2. Versuchsanordnung.

Die Anordnung zeigt Fig. 168. *K* setzt sich aus einer Mikro-

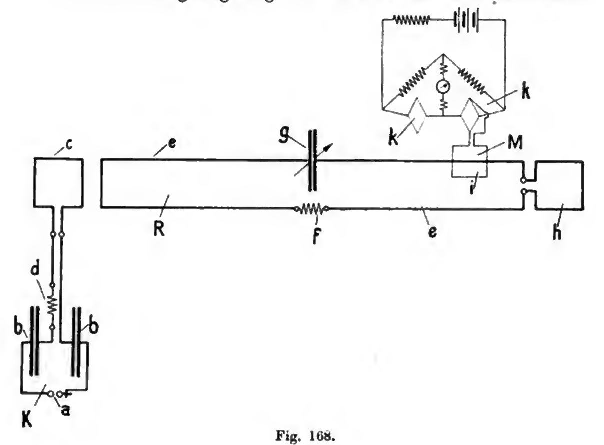


Fig. 168.

Digitized by Google

meterfunkenstrecke *a* mit Zinkkugeln von 50, 40, 30 oder 15 mm ϕ (Ablesung bis auf 0,1 mm), zwei Leydener Flaschenbatterien *b* aus englischem Flintglas, das eine gewisse Konstanz der Dielektrizitätskonstante auch für sehr schnelle Schwingungen ($2 . 10^6$ pro Sek.) nach Hopkinson und Wilson[×] besitzen soll, sowie einer auswechselbaren, quadratisch gestalteten Spule *c* von 1—5 Windungen mit einer Seitenlänge von 30 mm bei Anwendung blanken Kupferdrahtes von 4 mm ϕ zusammen. In die eine Spulenzuleitung konnten aus dünnen Nickelin- o. dgl. Drähten gebildete Widerstände *d*, die in Petroleum gebettet waren, eingesetzt werden.

Dieser Erregerkreis *K* induzierte auf den Resonatorkreis *R* in sehr loser Kopplung. Der Abstand zwischen beiden Kreisen betrug ungefähr 50 cm. Der Resonatorkreis *R* wurde gebildet aus einem Drahtrechteck *e* von 40×100 cm bei Verwendung eines Drahtes von 4,5 mm ϕ. Das Rechteck war bei *f* unterteilt, wo sehr feine Widerstandsdrähte (Neusilber, Nickelin usw. in Luft), die einen ungefähren Widerstand bis 0,3 Ohm herstellen sollten, eingesetzt werden konnten. Gegenüber von *f* — es konnte *f* auch durch einen Kupferdraht von 4,5 mm ersetzt werden — war ein Drehkondensator *g* (siehe S. 138) angeordnet. Mit *h* ist eine auswechselbare Hilfsspule bezeichnet, die ähnlich wie *c* beschaffen war. Schließlich konnte noch für gewisse Versuche *e* durch einen kleineren Kreis von 20×50 cm Seitenlänge ersetzt werden. Die Selbstinduktion von *R* einschließlich der Zuleitungen betrug 2760 cm.

Der Meßkreis *M* bestand aus einer quadratischen Spule *i* von 20 cm Seitenlänge, die aus vier Windungen eines 1,9 mm starken gummiisolierten Drahtes gebildet wurde, und einem Bolometer *k* (nach Paalzow-Rubens[××]) mit Galvanometer. Im Bolometer war 0,025 mm starker Eisendraht verwandt, so daß sich, mit Gleichstrom gemessen, für die von schnellen Schwingungen zu durchlaufende Bahn ein Widerstand von 11,2 Ohm ergab. Die Erregung des Bolometerkreises erfolgte durch drei Akkumulatoren mit einem Vorschaltwiderstand von 40 Ohm. Vor das Galvanometer waren Drosselspulen geschaltet.

Die Anordnung der Rubens-Paalzowschen Brücke hat den Vorzug, daß die Galvanometerausschläge mittels Gleichstromes auf ihre Proportionalität mit dem Quadrate der Stromstärke im Bolometer ohne weiteres untersucht werden können und daß der Wirkungsgrad eines Bolometers größer ist als z. B. der eines Thermoelementes.

× Hopkinson & Wilson, Phil. Trans. 189. p. 109. 1897.

×× Paalzow-Rubens. Wied. Ann. 37. p. 529. 1889.

Digitized by Google

Die Erregung des Systems K erfolgte mittels Funkeninduktors oder durch eine 20-plattige Toeplersche Influenzmaschine; auf die Resultate war die Art der Erregung fast ohne Einfluß.

Bei einigen Versuchen wurde vom Erregersystem K direkt auf das Meßsystem M induziert, um die Abhängigkeit der Energie (des Stromeffektes) von der Funkenlänge bei verschiedenen Funkenkugeln festzustellen.

3. Grundlagen für die Berechnung.

Nach Bjerknes wird der Mittelwert ω der Dekremente γ und δ, der klein sein soll gegen 2π, berechnet aus $\frac{\gamma+\delta}{2}$. Unter Einführung der Wechselzahlen ν_0 (für das Primärsystem) und ν_1 (für das Sekundärsystem) und des thermischen Integraleffektes

$$Y = \int_0^\infty i^2\,dt$$

an Stelle des elektrischen Intensitätsfaktors Y (bei Bjerknes) erhält man:

$$\omega = \frac{\gamma+\delta}{2} = \pi\left(1 - \sqrt{\frac{C_0}{C}}\right) \cdot \sqrt{\frac{y}{y_0 - y}},$$

wobei y_0 der Maximalwert von y für $\nu = \nu_0$ und die Kapazität (des veränderlichen Luftkondensators) C entsprechend ν und C_0 entsprechend ν_0 ist.

Bei den Messungen wurde hiernach die Resonanzkurve gezeichnet, indem die Kapazitätswerte (Teilstriche) des Luftkondensators des Sekundärsystems als Abszissen, die reduzierten Galvanometerausschläge, die den thermischen Integraleffekten entsprachen, als Ordinaten aufgetragen wurden. Für sechs Stellungen wurden sodann die ω-Werte berechnet.

Wenn somit das Gesamtdekrement gefunden war, sollten nunmehr aus diesem die Einzeldekremente γ und δ bestimmt werden.

Hierzu wurden verschiedene geeichte Widerstände f mit den Dekrementwerten η_1, η_2 usw. eingeschaltet und die dazu gehörenden Galvanometerausschläge bestimmt. Die den Widerständen w_1, w_2, w_3, bezw. den Dekrementen η_1, η_2 usw. entsprechenden Galvanometerausschläge waren: y_{01}, y_{02} usw. Man findet dann

$$\delta = \frac{y_{01}\,\eta_1\,(\gamma+\delta+\eta_1)}{(y_0 - y_{01})(\gamma+\delta) - y_{01}\,\eta_1}.$$

Digitized by Google

Bei den Messungen wurde die Kopplung zwischen Sekundärkreis und Bolometerkreis konstant gelassen, so daß kein Einfluß auf δ, das übrigens maximal nur $\frac{\gamma+\delta}{5}$ betrug, ausgeübt wurde.

Waren somit ω und δ festgelegt, so wurde nach dem obigen Ausdruck γ und a aus der Bezeichnung $a=\gamma \cdot \frac{\nu_0}{2}$ ermittelt. Sobald diese Größen gefunden waren, konnte aus dem Ausdruck: Gesamtwiderstand $= a$ multipliziert mit dem doppelten Selbstinduktionskoeffizienten des Primärkreises (der entsprechend γ variabel ist), der Widerstand berechnet werden.

Die Frage, ob die dargestellte Methode überhaupt anwendbar ist, da das Verfahren fordert, daß die Amplitudenkurve durch eine Exponentialfunktion darstellbar ist, beantwortet Rempp dahin, daß (obwohl die Amplitudenkurven im allgemeinen auch nicht annähernd exponentiellen Abfall zeigen) „das aus der Resonanzkurve ermittelte logarithmische Dekrement äquivalent sein soll dem Dekremente desjenigen idealen Kondensatorkreises, der den gegebenen in seiner Wirkung auf ein lose gekoppeltes System am besten ersetzt“. Daher sind auch aus diesem Grunde Abweichungen zwischen den Resultaten von Rempp und denjenigen früherer Arbeiten zu konstatieren.

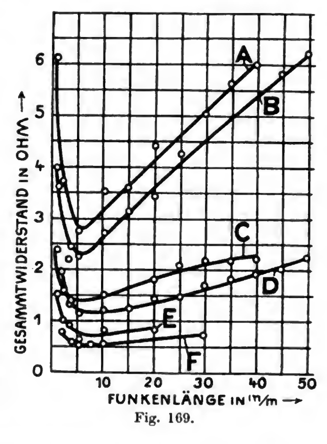


Fig. 169.

4. Versuchsresultate.

Es bezeichnet im folgenden für den Primärkreis: C die Kapazität, P die Selbstinduktion, ν_0 die Wechselzahl, λ die Wellenlänge, γ das logarithmische Dekrement, a den Intensitätsfaktor, w den Gesamtwiderstand, w_1 den Zusatzwiderstand in Ohm und für den Sekundärkreis δ das logarithmische Dekrement.

a) Abhängigkeit des Funkenwiderstandes (Gesamtwiderstandes) und des Dekrements von der Funkenlänge (siehe Fig. 169).

Digitized by Google

Funken-längen	Kurve A		Kurve B		Kurve C		Kurve D		Kurve E		Kurve F	
in mm	γ	w	γ	w	γ	w	γ	w	γ	w	γ	w
1	0,195	6,24	0,164	3,99	0,133	2,37			0,157	1,51	0.146	0,01
2	0,117	3,73	0,124	3,01	0,090	1,61	0,125	1,96	0,107	1,00	0,119	0,826
3	0,077	2,48	0.089	2,18	0,075	1,34	0,090	1,40	0.091	0,871	0,092	0,637
5	0,086	2,76	0,093	2,26			0,070	1,10	0,060	0,572	0,078	0,541
10	0,110	3,53	0,111	2,71	0,084	1,51	0,077	1,21	0,083	0,802	0,094	0,658
15	0,115	3,70	0,129	3,18			0,078	1,25				
20	0.137	4,43	0,140	3,46	0.101	1,83	0,092	1,42	0,082	0,796		
25	0,132	4.29			0,114	2,07	0,094	1,49				
30	0,158	5,15	0.202	5,01	0,122	2,20	0,108	1,71				
35	0,176	5,71			0,124	2,25	0,115	1,82				
40	0,187	6,10	0,203	5,06	0,124	2,25	0,123	1,95				
45			0,237	5,92			0,130	2,07				
50			0.253	6,34			0,144	2.29				

Die elektrischen Größen waren hierbei folgende:

Kurve A: $C = 273 . 10^{-6}$ MF; $P = 2810$ cm; $\nu_0 = 1,15 . 10^7$/sec.

$\frac{\lambda}{4} = 13,0$ m; $\delta = 0,0135$; $w' \sim 0,125$ Ohm

Kurve B: $C = 435 . 10^{-6}$ MF; $P = 2580$ cm; $\nu_0 = 9,51 . 10^6$/sec.

$\frac{\lambda}{4} = 15,8$ m; $\delta = 0,0154$; $w' \sim 0,11$ Ohm

Kurve C: $C = 853 . 10^{-6}$ MF; $P = 2710$ cm; $\nu_0 = 6,62 . 10^6$/sec.

$\frac{\lambda}{4} = 22,6$ m; $\delta = 0,0109$; $w' \sim 0,095$ Ohm

Kurve D: $C = 1093 . 10^{-6}$ MF; $P = 2650$ cm; $\nu_0 = 5,91 . 10^6$/sec.

$\frac{\lambda}{4} = 25,4$ m; $\delta = 0,0128$; $w' \sim 0,090$ Ohm

Kurve E: $C = 3035 . 10^{-6}$ MF; $P = 2770$ cm; $\nu_0 = 3,47 . 10^6$/sec.

$\frac{\lambda}{4} = 43,2$ m; $\delta = 0,0139$; $w' \sim 0,077$ Ohm

Kurve F: $C = 6860 . 10^{-6}$ MF; $P = 3280$ cm; $\nu_0 = 2,12 . 10^6$/sec.

$\frac{\lambda}{4} = 70,7$ m; $\delta = 0,0093$; $w' \sim 0,065$ Ohm.

Diese Resultate besagen, daß mit wachsender Funkenlänge der Funkenwiderstand (Gesamtwiderstand) erst abnimmt und dann zunimmt. Wieviel von dieser Zunahme auf die Strahlungs- und

Digitized by Google

Verlustenergie im Glase der Leydener Flaschen kommt, ist nicht mit Sicherheit anzugeben. Wie neuere Untersuchungen von Rausch v. Traubenberg, Hahnemann und Lange, die im Auszuge unten wiedergegeben sind, gezeigt haben, ist die Zunahme des dämpfenden Widerstandes im Primärkreise nicht der Zunahme des Funkenwiderstandes sondern den wachsenden Flaschenverlusten zuzuschreiben. Nach diesen Versuchsergebnissen verlaufen die Dämpfungs- und Widerstandskurven asymptotisch zur Abszisse.

b) Abhängigkeit des Funkenwiderstandes (Gesamtwiderstandes) von der Kapazität.

Die Resultate sind in Fig. 170 wiedergegeben. Es zeigt sich, daß bei gleicher Funkenlänge das Dekrement mit zunehmender Kapazität abnimmt und von einer Kapazität von $300 \cdot 10^{-6}$ MF an ziemlich

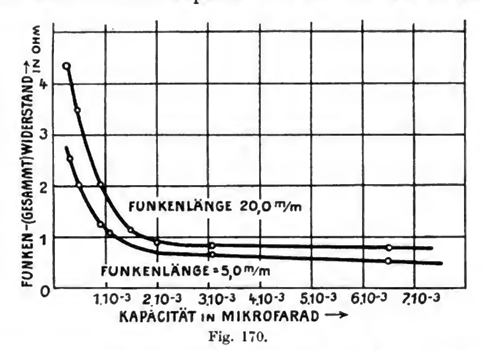


Fig. 170.

konstant bleibt. Bei kleinen Kapazitäten nimmt der Funkenwiderstand anfangs rasch, später mit größer werdender Kapazität weniger rasch ab, um dann wieder etwas zu steigen (etwa von 0,003 MF an).

c) Abhängigkeit des Dekrements vom Selbstinduktionskoeffizienten.

Wenn die Selbstinduktion verändert wird, übt das auf das Dekrement weniger Einfluß aus. Der Funkenwiderstand (Gesamtwiderstand) nimmt daher nahezu proportional der Wurzel aus dem Selbstinduktionskoeffizienten zu.

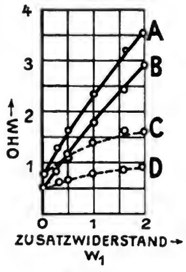


Fig. 171.

Digitized by Google

d) Abhängigkeit des Dekrements von Zusatzwiderständen im Schwingungssystem.

Die Abhängigkeit ist in Fig. 171 dargestellt. Entsprechend dem Zusatzwiderstand w_1 nimmt der Gesamtwiderstand größere Beträge an, und zwar steigt das Dekrement rascher, als es dem zunehmenden Widerstande entsprechen würde.

In Fig. 171 ist: $C = 6860 \cdot 10^{-6}$ MF; $P = 3270$ cm. Die Kurven A und B gelten für den Gesamtwiderstand w, die Kurven C und D für den Gesamtwiderstand, vermindert um den Zusatzwiderstand w_1.

e) Abhängigkeit des Dekrements von der Größe der Funkenkugeln.

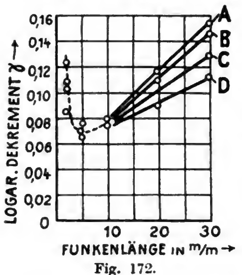


Fig. 172.

Fig. 172 zeigt die Resultate. Bis zur Funkenlänge 10 mm kommt der Kugeldurchmesser nicht in Betracht. Von da an wächst das Dekrement stärker bei größeren als bei kleineren Kugeln. Es gilt A für einen Kugeldurchmesser von 5 cm, B für 4 cm ϕ, C für 3 cm ϕ und D für 1,5 cm ϕ.

Aber diese Versuche sind nicht einwandfrei, da auch hier offenbar die Flaschen im Primärsystem von 10 mm Funkenlänge an überlastet wurden. Denn sonst müßten die Kurven sich der x-Achse nähern.

Es ist ferner zu berücksichtigen, daß bei großen Kugeln das Entladungspotential in anderer Weise zunimmt, so daß mit wachsender Funkenlänge bei großen Kugeln der Stromeffekt länger und zu größerem Maximum ansteigt.

8. Vorschläge für Dämpfungsmessungen von Rendahl und Burstyn.

Zur Untersuchung eines aus Kapazität, Selbstinduktion und Widerstand bestehenden Schwingungssystems wird nach Rendahl (1905) ein zweiter Schwingungskreis mit variabler Dämpfung, der auf das erste System abgestimmt wird, verwendet. Die Kapazität dieses zweiten Schwingungskreises soll ferner gleich derjenigen des ersten Systems gemacht werden.

Digitized by Google

Beide Kreise werden nun durch ein drittes System erregt und so angeordnet, daß die von ihnen erzeugten Schwingungen gemeinsam auf eine Spule induzieren, so daß sich die Wirkung beider Systeme auf diese Spule aufhebt, wenn beide Systeme von dem dritten System gleich stark erregt, beide aufeinander abgestimmt und beide gleich stark gedämpft sind.

Dadurch nun, daß die Dämpfung des zweiten Kreises verändert wird, kann man mit Hilfe eines Wellendetektors, der an die induzierte Spule angeschlossen ist, das Minimum der Energie feststellen und dadurch die Dämpfung des zu untersuchenden Schwingungssystems bestimmen.

Die im folgenden kurz beschriebene, aus dem Jahre 1905 von Burstyn stammende Dämpfungsmeßmethode ist von diesem zur Bestimmung der Dämpfung eines Luftleiters angewendet worden. Sie ist identisch mit der Methode der Bestimmung der Dämpfung eines Resonatorkreises mittels Widerstandsänderung nach Bjerknes und setzt eine starke Dämpfung des den Luftleiter erregenden Kreises voraus.

Die Methode ist folgende:

In das beliebig erregte Luftleitergebilde wird ein Hitzdrahtinstrument eingeschaltet und dessen Ausschlag a abgelesen. Darauf wird in den Luftleiter ein Widerstand eingeführt und wiederum der Ausschlag abgelesen. Dieser sei a'; dann gilt:

$$\frac{\mathfrak{d}}{\mathfrak{d}'} = \frac{a'}{a},$$

wo $\mathfrak{d}$ die Antennendämpfung ohne Zusatzwiderstand und $\mathfrak{d}'$ die Antennendämpfung mit Zusatzwiderstand ist.

Dieses Verfahren hat den Übelstand, nur dann eine Genauigkeit über 10% zu geben, wenn der Erreger mindestens zwanzigmal so stark gedämpft wie die Antenne ist.

---

9. Zusammenstellung der wichtigsten Beziehungen für Dämpfungsmessungen nach der Bjerknesschen Theorie.

In diesem Kapitel sollen die wichtigsten Meßmethoden der Dämpfung von Schwingungskreisen zusammengestellt werden, wie sie auf Grund der Bjerknesschen Theorie zuerst von Braun, Zenneck, Mandelstam und Brandes in Straßburg ausgearbeitet wurden und

Digitized by Google

wie sie später von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. in deren Betrieb für die Zwecke der Praxis vor allem von Hahnemann und Rausch v. Traubenberg weiter ausgebildet wurden.

a) Dämpfungsmessungen von Oszillatoren mittels der Resonanzkurve.

Als Meßvorrichtung dient ein in seiner Schwingungszahl variabler geschlossener Schwingungskreis in Verbindung mit einem Instrument, welches den Strom- oder Spannungseffekt anzeigt. Hierzu kann z. B. der Franke-Dönitzsche Wellenmesser in Verbindung mit einem Hitzdrahtwattzeiger von Hartmann & Braun (siehe S. 72) als Energieanzeiger benutzt werden. Das zu untersuchende Schwingungssystem wird vom Oszillator aus in loser Kopplung induziert und in ihr abhängig von der Wellenlänge der Ausschlag des Instrumentes aufgenommen. Dann gilt, wenn $\mathfrak{d}_1$ das Dekrement des Oszillators bezeichnet und $\mathfrak{d}_2$ das der Meßvorrichtung, die Gleichung

$$\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2 = k \cdot \frac{\lambda - \lambda'}{\lambda_r}.$$

Hierbei ist λ_r die Wellenlänge des Oszillators, λ und λ' sind Wellenlängen des Resonators, bei welchen das Instrument desselben einen für beide Wellenlängen gleichen Ausschlag α zeigt. Ist der Resonator auf die Wellenlänge des Oszillators λ_r abgestimmt, so habe er den Ausschlag α_r.

k ist eine Konstante, die vom Ausschlagsverhältnis $\frac{\alpha}{\alpha_r}$ abhängt, und zwar ist

$$k = \pi \sqrt{\frac{\frac{\alpha}{\alpha_r}}{1 - \frac{\alpha}{\alpha_r}}}.$$

Zweckmäßig wird $\frac{\alpha}{\alpha_r} = \frac{1}{2}$ gewählt. Hierfür ist $k = \pi$. Wenn man bei der Meßvorrichtung die Wellenlänge mit Hilfe eines Plattenkondensators variiert, und dieser Kondensator die die Wellenlänge bestimmende Kapazität im Schwingungskreise ist, so kann man bei den in der Technik der Strahlentelegraphie vorkommenden Größen der Dämpfung anstelle der obigen Formel auch schreiben:

$$\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2 = \frac{k}{2} \cdot \frac{C - C^1}{C_r}.$$

(Siehe Fig. 173.)

Die Dämpfung des Franke-Dönitzschen Wellenmessers ist rund $\mathfrak{d}_2 = 0{,}04$ ($20\,^0/_0$ nach oben oder unten sind hierbei möglich).

Digitized by Google

Somit kann die Dämpfung $\mathfrak{d}_1$ des zu untersuchenden Systems ohne weiteres bestimmt werden.

Ist $\mathfrak{d}_2$ nicht bekannt, so wird es, wenn es nicht vernachlässigbar klein ist, auf die im folgenden Abschnitt beschriebene Weise bestimmt.

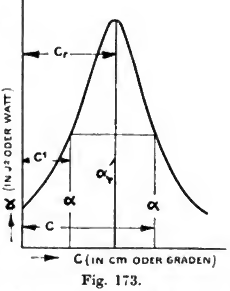


Fig. 173.

b) Dämpfungsmessung eines Resonators mittels variabler Dämpfung desselben.

1. Meßmethode bei wenig gedämpften Oszillatoren.

Soll die Dämpfung eines Resonators, z. B. des Franke-Dönitzschen Wellenmessers, bestimmt werden, so hat sich besonders folgende Methode bewährt. (Siehe Fig. 174.)

Der Resonator R wird auf den Oszillator O abgestimmt und es wird wie unter a) $\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2$ mit Hilfe der Aufnahme der Resonanzkurve gemessen; sodann wird der Resonator wieder auf den Oszillator abgestimmt und im Resonator ein Widerstand w eingeschaltet, dessen Dämpfung im Resonanzkreis $\triangle \mathfrak{d}_2$ betrage. Während vorher der Ausschlag im Instrument des Resonators α gewesen ist, sei er nach Einschalten des Widerstanders α_1. Dann gilt

$$\mathfrak{d}_2 = \frac{\triangle \mathfrak{d}_2}{\frac{\alpha}{\alpha_1} \cdot \frac{\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2}{\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2 + \triangle \mathfrak{d}_2} - 1}.$$

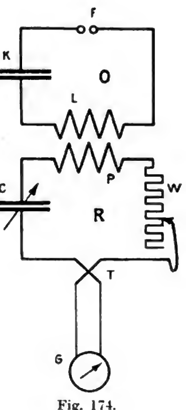


Fig. 174.

Um $\triangle \mathfrak{d}_2$ bequem aus dem Widerstand w berechnen zu können, wendet man folgende einfache Formel an

$$\triangle \mathfrak{d}_2 = \frac{C^{cm}\, w^{Ohm}}{\lambda^m} \cdot \frac{2}{3} \cdot 10^{-2}. \times$$

Hierbei ist C die resultierende Kapazität des Resonatorkreises in cm und λ die Wellenlänge des Resonators in m, bei welcher er auf den Oszillator abgestimmt ist.

× Ableitung siehe S. 214.

2. Meßmethode bei stark gedämpften Oszillatoren.

Für den Fall, daß $\mathfrak{d}_1$ bedeutend größer ist als $\mathfrak{d}_2$, z. B. zehn- bis zwanzigmal größer, vereinfacht sich obige Formel von $\mathfrak{d}_2$ in folgende

$$\mathfrak{d}_2 = \sim \frac{\triangle \mathfrak{d}_2}{\frac{\alpha}{\alpha_1} - 1}$$

oder

$$\mathfrak{d}_2 = \sim \frac{\alpha_1}{\alpha - \alpha_1} \cdot \triangle \mathfrak{d}_2 .$$

Am besten wählt man das Verhältnis $\alpha : \alpha_1 = 2$.

Hierfür würde

$$\mathfrak{d}_2 = \triangle \mathfrak{d}_2 .$$

Mit Hilfe dieser unter a) und b) gekennzeichneten Meßmethoden wurden die im folgenden (siehe Seite 219 und 220) beschriebenen Aufnahmen von Rausch v. Traubenberg, Hahnemann und Adelmann durchgeführt. Auch liegen diese Formeln den im folgenden beschriebenen Dämpfungsmeßvorrichtungen nach Hahnemann zugrunde.

---

10. Untersuchungen der Dämpfungen von Funkenstrecken in Schwingungskreisen der Hochfrequenztechnik von Rausch von Traubenberg und Hahnemann.

Die nachfolgend beschriebenen Versuche[×] wurden im Winter 1905/06 von Hahnemann, Rausch v. Traubenberg und Lange im Laboratorium der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. Berlin ausgeführt, um die Dämpfung von Funkenstrecken von in der Praxis gebrauchten Erregerkreisen festzustellen und um eventuell zweckmäßige Neuanordnungen aus den Versuchsresultaten zu gewinnen.

Die im folgenden wiedergegebenen Resultate können keinen Anspruch auf absolute Genauigkeit der angegebenen Zahlenwerte der Dämpfung machen. Jedoch dürften sie genügen, über die Größenordnung und den Charakter der Abhängigkeit der Funkendämpfung von den verschiedenen Anordnungen von Erregerkreisen Aufschluß zu geben.

1. Dämpfung einer nichtunterteilten Funkenstrecke.

Die Untersuchungen von Rempp[××] über die Dämpfung von Oszillatoren betrafen Schwingungskreise, deren Kapazität bis 7000 cm

---

[×] Eine eingehende Wiedergabe dieser Untersuchungen erfolgt in der Physikalischen Zeitschrift.

[××] Siehe S. 191 ff.

Digitized by Google

betrug. Da aber in der strahlentelegraphischen Praxis Schwingungssysteme mit bedeutend höheren Kapazitäten Anwendung finden, so wurde zunächst für die Untersuchung eine resultierende Kapazität von 15000 cm gewählt. Die Wellenlänge des gemessenen Schwingungskreises betrug 700 m. Die Kapazität von 15000 cm wurde dadurch hergestellt, daß in das Schwingungssystem sechs große A. E. G.-Flaschen von je 10000 cm derart eingeschaltet wurden, daß je drei Flaschen parallel und je zwei derartiger Gruppen in Serie geschaltet wurden. Die Flaschen vertrugen 10 mm Funkenlänge, ohne sehr wesentliche Büschelentladungen am Stanniolrand aufzuweisen. Bei Funkenlängen von über 10 mm traten jedoch erhebliche Randentladungen auf. Die Querschnitte der Selbstinduktion und Leitungen wurden solange verstärkt, bis ein dämpfender Einfluß dieser Teile auf die Dämpfung des Oszillators nicht mehr festgestellt werden konnte.

Die Dämpfung des zu untersuchenden Schwingungskreises wurde mit Hilfe der bekannten Bjerknesschen Methode aus der Resonanzkurve festgestellt. Die Resonanzkurve wurde in einem Schwingungskreise aufgenommen, der aus passend bemessener Selbstinduktion, einem variablen Plattenkondensator und Thermoelement mit Galvanometer bestand und sehr lose mit dem zu untersuchenden Oszillator gekoppelt wurde. Es wurde nun auf diese Weise abhängig von der Länge f der Funkenstrecke das logarithmische Dekrement der Dämpfung des Erregerkreises, welches mit $\mathfrak{d}_1$ bezeichnet werden soll, aufgenommen. Es ergab sich die in Fig. 175 als Kurve a dargestellte Abhängigkeit der Dämpfung $\mathfrak{d}_1$ von der Funkenlänge f. Die Kurve zeigt einen ganz ähnlichen Charakter wie die von Rempp ermittelte bei kleineren Kapazitäten und Wellenlängen.

Es lag nun die Vermutung nahe, besonders infolge von Versuchen von Adelmann und Hahnemann über Hochfrequenzverluste in Kondensatoren,[×] daß in der gefundenen Größe von $\mathfrak{d}_1$ nicht allein die Dämpfung der Funkenstrecke $\mathfrak{d}_f$ enthalten ist, sondern daß auch ein wesentlicher Anteil von $\mathfrak{d}_1$ auf die Dämpfung $\mathfrak{d}_c$ der Flaschen zurückzuführen war.

Da nun durch die genannten Versuche festgestellt wurde, daß die Dämpfung von Leydener Flaschen wesentlich mit der spezifischen Belastung zunimmt, so wurde in dem beschriebenen Oszillator die spezifische Belastung der einzelnen Flaschen dadurch herabgesetzt, daß vier Flaschengruppen verwendet wurden.

× Siehe S. 213.

Digitized by Google

Zu diesem Zweck wurden im ganzen viermal sechs große A.E.G.-Flaschen zu je 10000 cm in den Schwingungskreis eingeschaltet, derart, daß je sechs parallel geschaltete Flaschen zu vier Gruppen hintereinander geschaltet wurden. Die resultierende Kapazität im Schwingungskreis war somit wieder 15000 cm. Bei sonst gleichen elektrischen Dimensionen des Kreises wurde nun wieder die Abhängigkeit der Dämpfung $\mathfrak{d}_1$ von der Funkenlänge aufgenommen und es ergab sich nunmehr die in Fig. 175 als Kurve *b* ersichtliche Abhängigkeit.

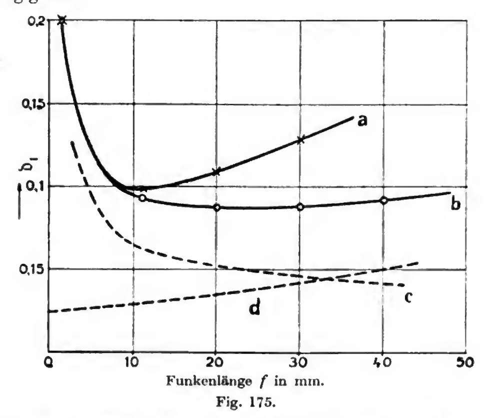


Fig. 175.

Da die Kurve *b* naturgemäß auch noch Flaschendämpfung $\mathfrak{d}_c$, die mit der Funkenlänge *f* anwächst, enthält, ist aus dieser Untersuchung zu folgern, daß der Flaschenwiderstand oder die Dämpfung der Funkenstrecke mit Zunehmen der Funkenlänge nicht derart zunimmt, wie man aus den Kurven von Rempp annehmen könnte, sondern sich vermutlich asymptotisch einem gewissen Endwert nähert.

Ein Minimum gibt es also bei der Abhängigkeitskurve der Dämpfung der Funkenlänge im Oszillatorkreise nicht, sondern die Dämpfung nimmt mit Wachsen der Funkenlänge erst stärker, dann immer schwächer ab.

In Fig. 175 wurde unter Berücksichtigung der erwähnten Untersuchungen von der Kurve *b* die Dämpfung $\mathfrak{d}_c$, welche die Kurve *d* darstellt, abgezogen und hieraus die Kurve *c* erhalten. Da die Kurve *d* angenähert den wirklichen Wert der Flaschendämpfung

Digitized by Google

$\mathfrak{d}_c$ angibt, so wäre mit der Kurve *c* die Abhängigkeit der Funkendämpfung $\mathfrak{d}_f$ von der Funkenlänge *f* gegeben.

Die Remppschen Kurven ergeben also nicht die Funkendämpfung $\mathfrak{d}_f$, sondern die Dämpfung des Oszillatorkreises

$$\mathfrak{d}_1 = \mathfrak{d}_f + \mathfrak{d}_c,$$

wobei $\mathfrak{d}_c$ durchaus nicht vernachlässigbar gegen $\mathfrak{d}_f$ ist.

2. Dämpfung einer unterteilten Funkenstrecke.

Da die stellenweise günstige Wirkung der in der Technik der Strahlentelegraphie durch Braun und Rendahl eingeführten Unterteilung der Funkenstrecke mit Zuhilfenahme der Braunschen Energieschaltung aus dem scheinbaren Minimum der Remppschen Kurven erklärt wurde, lag es nun nahe, den Einfluß der Unterteilung der Funkenstrecke auf die Oszillatordämpfung $\mathfrak{d}_1$ zu untersuchen. Zu diesem Zwecke wurden in verschiedenen Oszillatorkreisen mehrfach unterteilte Funkenstrecken eingeschaltet und ihre Gesamtspannung durch eine parallele Kontrollfunkenstrecke ermittelt. Das allgemeine Resultat war folgendes:

Eine mehrfach unterteilte Funkenstrecke dämpft bei gleicher resultierender Spannung immer mehr als eine einfache.

Einige Zahlenbeispiele sollen die Größenordnung der Mehrdämpfung durch Unterteilung vergegenwärtigen.

Es ergab sich z. B. bei einer Wellenlänge von 720 m bei einer Funkenlänge von zwei Funkenstrecken zu je 10 mm die Dämpfung 0,14. Bei einer Unterteilung von 3×6 mm stellte sich eine Dämpfung von 0,16 heraus. Bei einer Wellenlänge von 320 m und bei einer Funkenstrecke von 2×10 mm wurde die Dämpfung 0,165 ermittelt. Bei einer Unterteilung von 3×6 mm ergab sich die Dämpfung 0,19.

Änderung der Wellenlänge oder Änderung der resultierenden Kapazität ändern an diesem Resultat nichts. Bei einer Unterteilung, bei welcher die Einzelfunkenstrecken kleiner als 5 mm sind, wächst die Funkendämpfung durch jede Unterteilung mehr als etwa 0,02.

3. Einfluß des Krümmungsradius der Funkenstrecke auf die Dämpfung.

Es hat sich herausgestellt, daß nicht allein bei gleicher Elektrodenentfernung die Funkenspannung wächst, wenn der Krümmungsradius abnimmt, sondern auch die Verluste der Funkenstrecken mit abnehmendem Krümmungsradius, d. h. es nimmt die Funkendämpfung zu.

Digitized by Google

Die Resultate der Untersuchungen unter 2 und 3 haben zu den modernen Funkenstrecken der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. geführt; das Resultat von 1 zu einer Belastung der Flaschen nur bis zu einer gewissen zulässigen Spannung, während früher die Flaschen weit mehr belastet wurden.

4. Diskussion der gefundenen Resultate.

Angeregt durch die gefundenen Resultate, haben Rausch v. Traubenberg und Hahnemann eine Theorie zur Erklärung der Verluste in der Funkenstrecke aufgestellt, deren wesentlichster Inhalt im folgenden wiedergegeben werden soll.

Um zunächst möglichst einfache Verhältnisse zu haben, soll immer nur eine der physikalischen Größen im Schwingungskreis und in der Funkenstrecke geändert, die übrigen konstant gehalten werden.

Es soll ferner angenommen werden, daß die Funkenlänge f proportional der Ladespannung V ist. Weiterhin wird vorausgesetzt, daß die Verluste in der Funkenstrecke in zwei Arten zerlegt werden können. Die eine Art von Verlusten findet in der eigentlichen Funkenstrecke, d. h. in der Stromröhre durch Elektrizitätstransport statt; die diesen Verlusten entsprechende Dämpfung werde mit $\mathfrak{d}_i$, der diesen Verlusten bei einem gewissen Strom J entsprechende Widerstand werde mit w_i bezeichnet. Die andere Art von Verlusten findet in den Elektroden statt. Die diesen Verlusten entsprechende Dämpfung werde mit $\mathfrak{d}_e$, der entsprechende Widerstand mit w_e bezeichnet.

Unter der Dämpfung $\mathfrak{d}_f$, $\mathfrak{d}_i$ und $\mathfrak{d}_e$ entsprechend w_f, w_i und w_e soll immer der Durchschnittswert der mit der Stromstärke variierenden Funkendämpfung, bezw. Widerstand während eines ganzen Schwingungsverlaufes verstanden werden.

Es kann angenommen werden, daß die Zahl der gebildeten Ionen c. p. proportional der transportierten Elektrizitätsmenge ist und somit auch proportional der Stromstärke. Der Widerstand w_i ist sodann umgekehrt proportional der Ionenzahl, somit ist die Stromstärke ebenfalls dem Widerstande w_i umgekehrt proportional. Es gilt also

$$w_i \,.\, J = \text{konstant}.$$

Weiterhin kann angenommen werden, daß der Widerstand w_i proportional der Funkenlänge f ist, also

$$\frac{w_i}{f} = \text{konstant}.$$

Digitized by Google

Außerdem kann vorausgesetzt werden, daß die Verluste in den Elektroden proportional der Stromstärke sind. Hiernach gilt

$$\frac{J^2 \cdot w_e}{J} = \text{konstant,}^{\times}$$

d. h.

$$J \cdot w_e = \text{konstant.}$$

Eine Abhängigkeit des Winderstandes w_e von der Funkenlänge f wird nicht angenommen, da w_e nur abhängig von dem Querschnitt der Kraftröhre und der Stromdichte ist und es ist somit für veränderliche Funkenlängen

$$w_e = \text{konstant.}$$

Es sollen nun die Dämpfungen $\mathfrak{d}_i$ und $\mathfrak{d}_e$ ermittelt werden, indem in einunddemselben Schwingungskreis unter Konstanthalten aller übrigen Größen immer nur eine Größe variiert wird.

a) Es sei die Wellenlänge λ = konstant,
die Funkenlänge f = konstant,
die Stromstärke J = variabel.

Dies erreicht man bei einem Schwingungskreis, indem man bei konstanter Funkenlänge und konstanter Wellenlänge die Kapa-

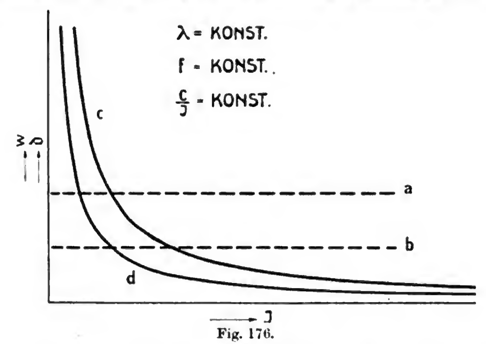


Fig. 176.

zität C vergrößert und gleichzeitig die Selbstinduktion L um den gleichen Prozentsatz verkleinert.

Es ergeben sich, da λ und $\frac{C}{J}$ im vorliegenden Falle konstant, folgende zwei Beziehungen:

× Unter $J^2 w$ sind hier nicht die wahren Verluste, sondern es ist bei konstantem Schwingungsverlauf ein den Verlusten proportionaler Wert gemeint.

Digitized by Google

$$w_i \,.\, J = \text{konstant},$$
$$w_e \,.\, J = \text{konstant}.$$

In Fig. 176 ist in Kurve a die Abhängigkeit der Dämpfung $\mathfrak{d}_i$ vom Strome J, in Kurve b die Abhängigkeit der Dämpfung $\mathfrak{d}_e$ vom Strome J gekennzeichnet. Kurve c entspricht dem Widerstande w_i, Kurve d dem Widerstande w_e.

b) Im Schwingungskreis sei λ konstant,
J konstant,
f variabel.

Damit bei variabler Funkenlänge der Strom J konstant gehalten wird, muß man bei gleicher Schwingungsdauer des Kreises proportional zur Vergrößerung der Funkenlänge die Kapazität verkleinern; hier ist

$$C \,.\, f = \text{konstant}.$$

In Fig. 177 ist wieder durch die Kurve a die Abhängigkeit der Dämpfung $\mathfrak{d}_i$, durch die Kurve b die der Dämpfung $\mathfrak{d}_e$ von der

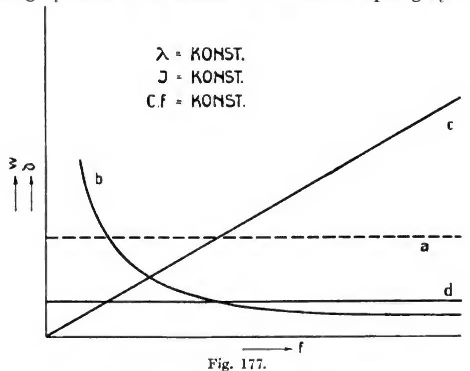


Fig. 177.

Funkenlänge f gegeben. Kurve c entspricht der Änderung des Widerstandes w_i, Kurve d der Änderung des Widerstandes w_e mit der Funkenlänge f.

c) Es sei J konstant,
f konstant,
λ variabel.

Da der Strom proportional zum Produkt aus Kapazität C und

Digitized by Google

Spannung V und umgekehrt proportional zur Wellenlänge λ ist, folgt hieraus

$$\frac{C}{\lambda} = \text{konstant},$$

d. h. im Schwingungskreis muß proportional zur Wellenlänge auch C verkleinert werden. Ferner ist

$$\mathfrak{d}_e = \text{konstant}.$$

w_i, sowohl wie w_e, sind hier, da f und J konstant sind, ebenfalls konstant.

In Fig. 178 entspricht die Kurve a der Dämpfung $\mathfrak{d}_i$, b der Dämpfung $\mathfrak{d}_e$, c dem Widerstande w_i, d dem Widerstande w_e.

Wenn man nun diese Funkendämpfung

$$\mathfrak{d}_f = \mathfrak{d}_i + \mathfrak{d}_e$$

abhängig von einer dieser Größen, Strom, Funkenlänge oder Schwingungsdauer unter Konstanthaltung der übrigen Größen aufnehmen will,

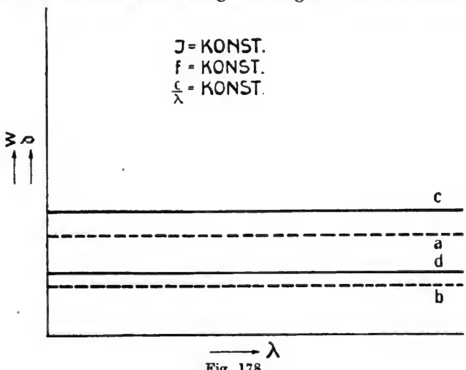


Fig. 178.

muß man somit bei jedem einzelnen Punkte der Aufnahme die Kapazität und Selbstinduktion des Schwingungskreises entsprechend verändern. Es ist experimentell wesentlich einfacher, anders zu verfahren.

Man ändert z. B. unter sonst konstanten Verhältnissen nur die Funkenlänge und findet hieraus eine Abhängigkeit der Dämpfung $\mathfrak{d}_i$ von der Funkenlänge f. Dieses wiederholt man bei verschiedenen Schwingungskreisen, die zwar dieselbe Wellenlänge λ, aber verschiedene resultierende Kapazitäten C haben. Aus diesen Kurvenscharen kann man dann die den Fig. 176 und 177 entsprechende Kurve gewinnen, indem man aus jeder einzelnen Kurve einen Punkt herausnimmt, der entweder konstanter Funkenlänge f oder kon-

Digitized by Google

stantem Strome J entspricht. Ebenso kann man bei konstanter Funkenlänge f und konstanter Kapazität C die Wellenlänge variieren und hiervon abhängig die Dämpfung $\mathfrak{d}_f$ aufnehmen. Solche Kurven nimmt man nun bei verschiedenen Kapazitäten C auf, und kann aus dieser Kurvenschar, unter Berücksichtigung der Flaschendämpfung usw., ganz ähnlich wie oben, die Kurven der Fig. 178 gewinnen.

Es soll nun die in Fig. 175 enthaltene Aufnahme mit Hilfe der aus den Fig. 176 und 177 hervorgehenden Beziehungen zwischen Funkenlänge f und Funkendämpfung

$$\mathfrak{d}_f = \mathfrak{d}_i + \mathfrak{d}_e$$

rekonstruiert werden. Bei der in Fig. 175 beschriebenen Aufnahme war

$$\lambda = \text{konstant},$$
$$C = \text{konstant},$$
$$f = \text{variabel},$$
$$J = \text{variabel},$$
$$\frac{f}{J} = \text{konstant}.$$

Da $\mathfrak{d}_i$ nach a und b unabhängig von J und von f ist, ist $\mathfrak{d}_i$ auch, wenn f und J gleichzeitig variiert werden, konstant.

In Fig. 179 entspricht die Kurve a diesem $\mathfrak{d}_i$. Da $\mathfrak{d}_e$ unabhängig von J ist, ist die Abhängigkeit der Dämpfung $\mathfrak{d}_e$ von der Funkenlänge f bei variiertem J gleich der bei konstantem J, d. h. aber nach b und der Fig. 177 gilt

$$\mathfrak{d}_e \,.\, f = \text{konstant}.$$

Die Differenz der Ordinaten der Kurve b und der Kurve a in Fig. 179 entspricht dieser Dämpfung $\mathfrak{d}_e$ abhängig von der Funkenlänge f, die Kurve b ergibt somit die Abhängigkeit der Funkendämpfung $\mathfrak{d}_f$ von der Funkenlänge f bei konstanter Wellenlänge und konstanter Kapazität im Schwingungskreis. Da nun bei der Aufnahme der Fig. 175 in der ermittelten Dämpfung $\mathfrak{d}_1$ auch bei Kurve b noch eine merkliche Flaschendämpfung $\mathfrak{d}_c$ enthalten ist, muß man in Fig. 179 der Kurve b noch die Flaschendämpfung $\mathfrak{d}_c$ hinzufügen, um eine Kurve für $\mathfrak{d}_1$ zu finden, die der wirklich aufgenommenen Kurve b der Fig. 175 entspricht.

Es ist daher in Fig. 179 eine Kurve c eingezeichnet, welche ungefähr der Flaschendämpfung, wie sie aus den Untersuchungen von Adelmann und Hahnemann hervorgeht, entspricht. Die Summe von c und b gibt die Kurve d. Der Charakter dieser

Digitized by Google

Kurve *d* der Fig. 179 ist ganz derselbe wie der der Kurven *a* und *b* der Fig. 175. Somit ist die aufgenommene Kurve der Abhängigkeit der Dämpfung $\mathfrak{d}_1$ von der Funkenlänge f gut übereinstimmend mit

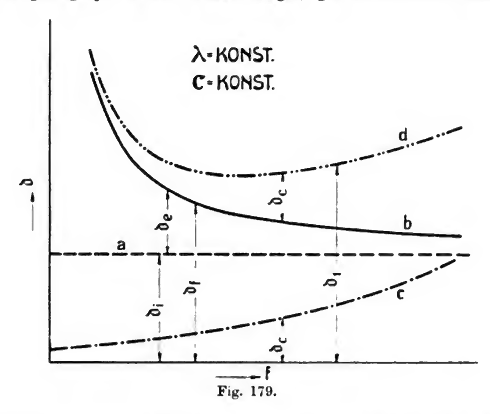


Fig. 179.

der durch die theoretische Überlegung ermittelten Kurve *d* der Fig. 179.

Ebenso stimmt mit der theoretischen Überlegung das gefundene Resultat überein, daß Unterteilung hinsichtlich der Dämpfung schaden muß, da durch Unterteilung zu den Verlusten der einfachen Funkenstrecke noch Elektrodenverluste durch die neu hinzugekommenen Elektroden hervorgerufen werden, ohne daß die pro Schwingung umgesetzte Energie verändert wird. Das Verhältnis von Verlust zur Leitung pro Schwingung wird also größer und somit auch die Dämpfung $\mathfrak{d}_f$. Man kann von dieser Mehrdämpfung bei Unterteilung einen Rückschluß machen auf den Anteil der Dämpfung $\mathfrak{d}_e$ an der Gesamtdämpfung $\mathfrak{d}_f$.

Bei diesen Untersuchungen konnte der Einfluß der Änderung des Schwingungsverlaufes infolge der Änderung der Gesamtdämpfung $\mathfrak{d}_i$ auf die Funkendämpfung $\mathfrak{d}_f$ nicht berücksichtigt werden. Wenn man diesen Einfluß bei den Untersuchungen mit berücksichtigen will, werden folgende vier Einzeluntersuchungen notwendig:

1) f, λ, J konstant $\mathfrak{d}_i$ variabel
2) f, J. $\mathfrak{d}_i$ konstant λ variabel
3) f, $\mathfrak{d}_1$ λ konstant J variabel
4) $\mathfrak{d}_1$ λ J konstant f variabel

Digitized by Google

Hierbei hält man $\mathfrak{d}_i$ indem man einen entsprechenden veränderlichen Widerstand einschaltet.

Zum Schluß sei noch eine von Adelmann ausgeführte Untersuchung, deren Resultate in Fig. 180 dargestellt sind, besprochen.

Es sei wieder die Abhängigkeit der Dämpfung $\mathfrak{d}_1$ eines Oszillatorkreises von der Funkenlänge f in mm dargestellt. Es wurde ein Schwingungskreis benutzt, dessen Wellenlänge 500 m, dessen Schwingungskapazität 8000 cm war. Die Verlustdämpfung des Kondensators wurde dadurch wesentlich herabgemindert, daß anstelle von Flaschen ein mit Öl gefüllter Glasplattenkondensator Ver-

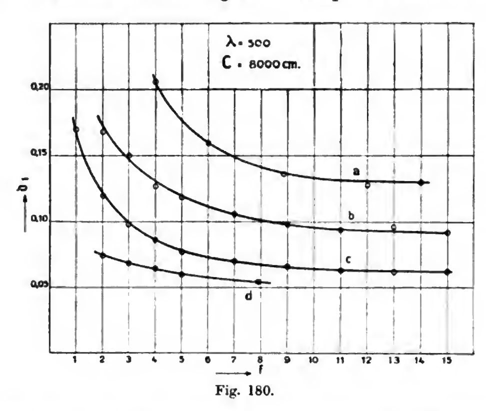


Fig. 180.

wendung fand und daß durch die Ölfüllung die Randstrahlung der Kondensatorplatten verhindert wurde. Die Kondensatordämpfung betrug hierbei noch ca. 0,02 bis ca. 0,03. Bei der Untersuchung wurde nun die Funkenstrecke (spitzenförmige Elektroden) mit verschiedenen Gasen umgeben, und zwar bei der Aufnahme der Kurve *a* war die Funkenstrecke in Wasserstoff, bei *b* in Leuchtgas, bei *c* in normaler Luft, bei *d* in Luft unter einer Atmosphäre Druck angeordnet.

Bei Funkenlängen unter 2 mm ist die Dämpfung, wie aus den Kurven hervorgeht, sehr beträchtlich.

Durch die Vermeidung der allzu großen Kondensatordämpfung ist auch bei diesen Aufnahmen das von Rempp gefundene Minimum vermieden.

Digitized by Google

11. Untersuchungen über die Verluste in Kondensatoren mit festem Dielektrikum in Hochfrequenzkreisen von Adelmann und Hahnemann.

Die nachstehend beschriebenen Untersuchungen wurden ebenfalls im Winter 1905/06 im Laboratorium der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie, Berlin angestellt. [×]

Es soll hier nur kurz das Ergebnis dieser Untersuchungen besprochen werden.

Zunächst wurden Kondensatoren mit Glimmer, Hartgummi, Zelluloid, Papier usw. als Dielektrikum untersucht. Es ergab sich, daß die Dämpfung eines Kondensators sehr wesentlich von der spezifischen Belastung abhängt, und zwar ist diese Abhängigkeit bei Hartgummi und Glimmer am bedeutendsten, bei Papier am geringsten. Da bei den angewendeten Schwingungszahlen (250—500 m Wellenlänge) merkliche Verluste durch reine Ohmsche Leitung ausgeschlossen waren, ist diese Dämpfung, welche sich in der Größenordnung zwischen 0,02 und 0,2 bewegt, nur inneren, sog. Hysteresisverlusten zuzuschreiben.

Die Methode der Untersuchung, welche insbesondere von Hahnemann angegeben wurde, war folgende:

Von einem mit Funkenstrecke erregten Oszillatorkreis aus wurde auf einen Resonanzkreis lose gekoppelt induziert. Im Resonatorkreis wurde durch eine Wippe einmal der zu untersuchende Kondensator, das andere Mal ein denselben ersetzender Luftkondensator, vor welchen ein variabler Widerstand geschaltet war, eingeschaltet. Der Resonatorkreis war abgestimmt auf den Oszillator, z. B. in beiden Fällen durch eine variable Selbstinduktion.

Die Kapazität des Luftkondensators war gleich der des zu untersuchenden. Ein mit dem Resonatorkreis irgendwie verbundenes Anzeigeinstrument zeigte den Schwingungseffekt im Resonatorkreis an. Um die Dämpfung im Resonanzkreis in beiden Stellungen der Wippe gleichzumachen, wurde der Widerstand vor dem Luftkondensator so lange variiert, bis der Ausschlag des Instrumentes sowohl bei eingeschaltetem Luftkondensator, als auch bei eingeschaltetem zu untersuchenden Kondensator gleich war. Vorausgesetzt, daß die Dämpfung durch den Luftkondensator gegenüber der zu untersuchenden vernachlässigbar klein war, gab dieser dem

[×] Eine eingehende Mitteilung dieser Untersuchungen wird demnächst in der E. T. Z. erfolgen.

Digitized by Google

Luftkondensator vorgeschaltete Widerstand w ohne weiteres die Dämpfung an, welche dem zu untersuchenden Kondensator entsprach. Bei dieser Untersuchung wurde auch die für die strahlentelegraphische Technik sehr bequeme Formel

$$\frac{C_{cm} \cdot w_{Ohm}}{\lambda_m} \cdot \frac{2}{300} = \mathfrak{d}$$

aufgestellt. Ihre Ableitung ist folgende:

Ist $\mathfrak{d}$ die Dämpfung eines Schwingungskreises, w dessen Widerstand und L seine Selbstinduktion in CGS, v die Lichtgeschwindigkeit und λ die Wellenlänge des Kreises in cm, so gilt

$$\mathfrak{d} = \frac{w_{cm}}{2 L_{cm}} \cdot \frac{\lambda_{cm}}{v_{cm}}.$$

Ist nun C_{cm} die Kapazität des Schwingungskreises, so gilt weiterhin:

$$\lambda_{cm} = 2\pi \sqrt{L_{cm} C_{cm}}.$$

Hieraus folgt:

$$\mathfrak{d} = \frac{w_{cm}}{\frac{\lambda^2_{cm}}{2\pi^2 C_{cm}}} \cdot \frac{\lambda_{cm}}{v_{cm}}$$

$$\mathfrak{d} = \frac{w_{cm} C_{cm}}{\lambda_{cm}} \cdot \frac{2\pi^2}{v_{cm}}.$$

Und wenn für v $3 \cdot 10^{10}{}_{cm}$, für λ_{cm} λ_m und für w_{cm} w_{Ohm} eingeführt wird erhält man:

$$\mathfrak{d} = \frac{2}{3} \cdot 10^{-2} \frac{C_{cm} w_{Ohm}}{\lambda_m}.$$

Weitere Untersuchungen ergaben, daß auch Leydener Flaschen, selbst mit vorzüglichem Flintglas, noch merklich gegenüber Luft- und Ölkondensatoren dämpfen, und es zeigte sich insbesondere, daß die Randstrahlung an den Stanniolbelegungen der Flaschen auch bei verhältnismäßig geringer Belastung schon sehr merklich ist und die im Glas auftretenden inneren Verluste sehr bald übersteigt. Die näheren Resultate sind aus der oben angeführten Arbeit zu ersehen.

Zum Schluß soll nur noch kurz ein Experiment mitgeteilt werden, welches die Wichtigkeit dieser Untersuchungen, besonders für die Technik der Strahlentelegraphie, zu kennzeichnen geeignet ist.

Es ergab sich nämlich, daß Oszillatorkreise für sogen. tragbare Stationen, in welchen man im allgemeinen Siemensflaschen, d. h. Leydener Flaschen mit starkwandigem Glas als Dielektrikum von ca. 500 cm Kapazität verwendete, in ihrer Wirkung besser wurden, wenn man anstatt der Siemensflaschen geeignete Papierkondensatoren be-

Digitized by Google

nutzte.[×] Diese Tatsache wurde näher untersucht und es stellte sich in der Tat heraus, daß die Siemensflachen bei der angewendeten Funkenlänge von $7^1/_2$ mm pro Flasche mehr dämpften, als die in genügender Zahl hintereinandergeschalteten Papierkondensatoren. Bei Verringerung der spezifischen Belastung ging aber die Dämpfung der Siemensflaschen wesentlich unter die der Papierkondensatoren herab.

In Fig. 181 ist das Nähere enthalten. Die Anordnung war so getroffen, daß die Funkenspannung f in einer mit Kugelelektroden versehenen Parallelfunkenstrecke festgestellt wurde.

Die Kurve a zeigt die Dämpfung $\mathfrak{d}_c$ des Papierkondensators

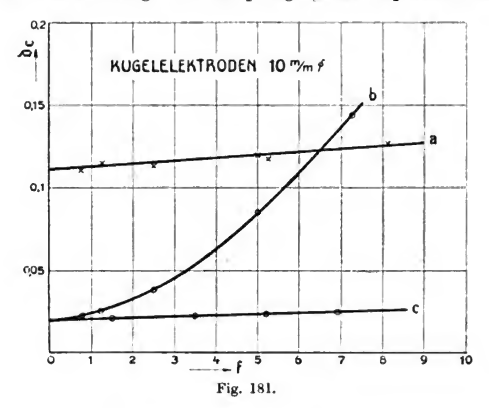


Fig. 181.

abhängig von der Funkenlänge f an, b die Dämpfung $\mathfrak{d}_c$ der Siemensflaschen in Luft.

Zugleich wurde die Dämpfung $\mathfrak{d}_c$ der Siemensflaschen festgestellt, wenn ihre Randstrahlung dadurch wesentlich verändert wurde, daß ihre Innenbelegung unter Öl gesetzt wurde; das Resultat hiervon zeigt Kurve c.

Bei $7^1/_2$ mm Funkenlänge beträgt sonach die Dämpfung der Siemensflaschen in Luft 0,15, während die Dämpfung der Papierkondensatoren nur 0,13 beträgt.

× Konstruktion nach Angabe von Rosenthal.

Digitized by Google

12. Vorrichtungen zur Messung der Dämpfung von Oszillatoren und Luftleitern von Hahnemann.[×]

1. Messung der Dämpfung von Oszillatoren.

a) Dämpfungsmessung mittels eines Meßkreises mit variabler Dämpfung.

Ein Meßkreis, dessen Wellenlänge man mittels variabler Kapazität oder veränderlicher Selbstinduktion auf die des zu untersuchenden Kreises einstellen kann, ist mit Hilfe eines induktionslosen Widerstandes in seiner Dämpfung variabel gemacht derart, daß jede eingestellte Widerstandsänderung einer ganz bestimmten Dämpfungsänderung entspricht. Wenn man voraussetzt, daß man den Widerstand des Meßkreises und hiermit seine Dämpfung auf einen bestimmten Betrag ändert, ist die Skala des Energieanzeigers direkt in den gesuchten Dämpfungswerten des Erregerkreises eichbar, wobei vorausgesetzt ist, daß man bei der Ausgangsstellung des Meßkreises, z. B. durch Veränderung der Kopplung, einen bestimmten Ausschlag des Energieanzeigers herstellt.

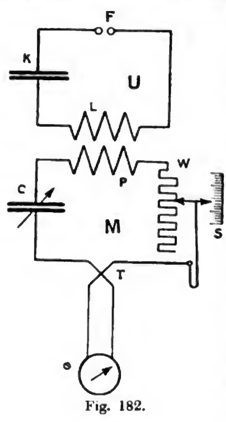


Fig. 182.

In der Fig. 182 ist eine Ausführungsform des Verfahrens dargestellt. Hierin bezeichnet *U* den zu untersuchenden Kreis, *M* den Meßkreis. *f* ist eine Funkenstrecke, *K* bedeutet eine Kapazität, *L* eine beliebige Selbstinduktion. Im Meßkreis *M* stellt *P* die Selbstinduktion, *C* eine variable Kapazität dar; man kann selbstverständlich zur Veränderung der Wellenlänge auch die Selbstinduktion *P* veränderlich machen. *W*

× D. R.-P. 176840. „Verfahren zur Messung der Dämpfung elektrischer Schwingungskreise mittels eines Hilfskreises mit variabler Kapazität und variabler Selbstinduktion." Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. Angemeldet 11./12. 1906, erteilt 5./9. 1906.

D. R.-P. 179828. „Verfahren zur Messung der Dämpfung elektrischer Schwingungskreise mittels eines Vergleichskreises." Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. Angemeldet 11./12. 1906, erteilt 8./11. 1906.

Patent-Anmeldung. G. 22242. „Verfahren zur Messung der Dämpfung elektrischer Schwingungskreise mittels eines Meßkreises mit variabler Dämpfung." Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. Angemeldet 11./12. 1906.

Digitized by Google

ist ein induktionsloser Widerstand zur Veränderung der Dämpfung des Meßkreises; sein verschiebbarer Kontakt fährt gleichzeitig an einer Skala S entlang. Die Energie des Meßkreises wird hier beispielsweise mit einem Thermoelement T und einem Galvanometer G gemessen. Es läßt sich ebensowohl auch jedes Instrument verwenden, welches Hochfrequenzenergie anzeigt, wie z. B. Hitzdrahtinstrumente, Thermometer, Bolometer usw. Statt den Energieanzeiger direkt einzuschalten, kann man ihn auch mittels eines Transformators mit dem Meßkreis verbinden. Selbstverständlich kann der induzierte Kreis galvanisch, induktiv oder konduktiv gekoppelt sein, sei es durch Spulen oder Kapazität, wenn er nur genügend lose mit dem induzierenden System gekoppelt ist.

Das Meßverfahren ist hierbei folgendes:

Man stimmt in einer gewissen Anfangsstellung den Meßkreis auf den untersuchten Kreis ab und ändert dann so lange durch den Widerstand w die Dämpfung des Meßkreises, bis man eine gewisse Abnahme des Ausschlages des Energieanzeigers G erhalten hat. Durch die Größe dieser Dämpfungsveränderung, welche notwendig war, das bestimmte Ausschlagsverhältnis zu erhalten, ist nach Bjerknes die gesuchte Dämpfung des Erregerkreises bestimmt. Man kann also eine Skala an diesem variablen Widerstande des Meßkreises so anbringen, daß sie ohne weiteres die Größe der Dämpfung des zu untersuchenden Kreises für eine gewisse Wellenlänge angibt. Da nämlich die Dämpfung des Meßkreises nicht allein von seinem Widerstande und seiner Selbstinduktion, sondern auch von der Wellenlänge λ abhängt, so kann die Skala nur für eine bestimmte Wellenlänge λ_0 geeicht sein. Den richtigen Wert der gesuchten Dämpfung findet man dann, indem man den an der Skala abgelesenen Wert mit $\frac{\lambda}{\lambda_0}$ multipliziert. Man kann, wie oben mitgeteilt, auch so verfahren, daß man den Energieanzeiger so eicht, daß man an ihm die gesuchten Dämpfungen ablesen kann. Es muß dann die Dämpfung im Meßkreis in einem bestimmten Prozentsatz geändert werden, und die zugehörige Änderung des Ausschlages des Energieanzeigers bestimmt dann eindeutig die gesuchte Dämpfung.

Gegenüber dem Verfahren von Bjerknes, bei welchem man durch wiederholte Veränderung der Dämpfung eines Erregerkreises und eines Resonanzkreises (Meßkreises) die Dämpfung beider Systeme rechnerisch bestimmen kann — somit also mindestens drei Ablesungen erforderlich sind, und der Endwert der Dämpfung

Digitized by Google

des Oszillators verhältnismäßig ungenau wird — hat das oben beschriebene Verfahren den Vorteil, die dritte Ablesung zu sparen und durch entsprechend genaue Eichung der Dämpfungswerte des Meßkreises beliebig empfindlich zu sein.

b) Dämpfungsmessung eines Oszillators mittels eines Hilfskreises mit variabler Selbstinduktion und Kapazität.

Es wird in dem Resonanzkreise, in welchem die Wellenlänge variabel ist, sowohl Selbstinduktion als auch Kapazität veränderlich gemacht. Dadurch nun, daß man z. B. stets mit der variablen Kapazität die beiden Kreise aufeinander abstimmt und dann mit der anderen veränderlichen Größe, z. B. mit der Selbstinduktion, bis zu einer gewissen Abnahme der im Resonanzkreise schwingenden Energie den Hilfskreis *H* verstimmt, kann man für einen gewissen Betrag der Verstimmung direkt die zugehörige Größe der Summe der Dämpfungen der beiden Schwingungskreise angeben und sie also auf einer entsprechenden Skala der zweiten variablen Größe, hier z. B. der Selbstinduktion, ablesbar anbringen. Macht man diese zweite variable Größe, welche zur Verstimmung vorhanden ist, nur stufenweise veränderlich, so ist es zweckmäßig, die Vorrichtung, mit welcher man die Energie mißt (Energieanzeiger), so zu eichen, daß die Größe der angezeigten Energie direkt die untersuchte Dämpfung angibt; vorausgesetzt ist hierbei, daß bei Abstimmung, z. B. durch Veränderung der Kopplung, der Energieanzeiger einen bestimmten Ausschlag zeigt.

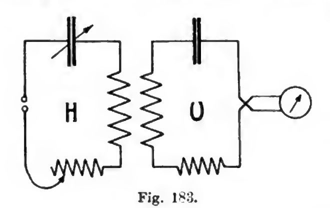


Fig. 183.

Kann man im zu untersuchenden Kreise eine rein gedämpfte Sinusschwingung hervorrufen — z. B. wenn es sich um Ermittlung der Dämpfung des Kreises mit Funkenstrecke handelt, oder wenn man durch einen sehr stark gedämpften Schwingungskreis mit Funkenstrecke („Stoßerregerkreis") annähernd eine sinusförmig gedämpfte Schwingung im untersuchten Kreise erreichen kann —, so benutzt man den untersuchten Kreis als Erregerkreis und den Hilfskreis mit den beiden variablen Größen als Resonanzkreis, in welchen man dann einen Energieanzeiger einschalten muß, sei es direkt oder durch einen Transformator.

Digitized by Google

Kann man im zu untersuchenden Kreise *H* keine annähernd rein gedämpfte Sinusschwingung erzeugen, ohne seine Dämpfung zu ändern, so muß man ihn als Resonanzkreis benutzen und in ihm einen Energieanzeiger anbringen. Der Hilfskreis *H* wird dann als Erregerkreis benutzt (Fig. 183), indem man ihn beispielsweise durch eine Funkenstrecke erregt. Die durch die Messung gefundenen Werte ergeben zunächst nur die Summe der Dämpfungen beider schwingenden Kreise. Es ist aber nicht schwer, daraus die Dämpfung des untersuchten zu bestimmen. Wird der untersuchte Kreis als Erregerkreis benutzt und der Hilfskreis als Resonanzkreis (Fig. 182), so ist erstens, wie oben schon ausgeführt, vielfach die Dämpfung dieses Hilfskreises gegenüber der des untersuchten Kreises vernachlässigbar klein, zweitens kann sie für jede Wellenlänge bestimmt und dem Apparat beigegeben werden, so daß sie ohne weiteres vom ermittelten Skalawerte abgezogen werden kann, um die gesuchte Dämpfung zu finden. Wird der untersuchte Kreis als Resonanzkreis verwandt, so ist die Dämpfung des Hilfskreises, der dann als Erregerkreis benutzt wird, nicht mehr so klein, daß sie vernachlässigt werden kann, und nicht mehr ohne weiteres bekannt. Es kann aber die Dämpfung des Hilfskreises als Erregerkreis leicht durch Zuhilfenahme eines zweiten gleich oder anders gearteten Hilfskreises, dessen Dämpfung bekannt ist, bestimmt und somit die gesuchte Dämpfung ermittelt werden.

Diese Methode hat den Nachteil, daß durch die Veränderung der sekundlichen Funkenzahlen große Fehler in das Resultat kommen können, und ferner ist der Übelstand vorhanden, daß man die gesuchte Dämpfung als Differenz zweier durch die Veränderlichkeit der Dämpfung der Funkenstrecke an sich ungenauer Werte ermittelt.

Mit Hilfe der beschriebenen Dämpfungsmeßvorrichtungen und mittels der Resonanzmethode, welche allerdings auf gekoppelte Sender nicht ohne weiteres anwendbar sind, sind verschiedene in nachfolgender Tabelle zusammengestellte Erregersysteme der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. untersucht worden.

c) Dämpfungen von Erregerkreisen der Praxis.

Type	Funkenlänge	Kapazität	Wellenlänge		Dämpfungsdekrement
Kommerzielle Station	1×10 mm	20000 cm	250 m	2 gr. A.E.G.-Flaschen zu je 10000 cm	0,1
Karren-Station . .	3×5 mm	16200 „	700 m	36 Siemens- „	0,24
T. V. K., alte Type .	3×4 mm	12600 „		7 A.E.G.- „	0,4

Type	Funkenlänge	Kapazität	Wellenlänge		Dämpfungsdekrement
T. V. K., neue Type .	3×5 mm	10100 „		7 A.E.G.-Doppel-Flaschen mit Ölfüllung	0,08
Torpedo-Erregergestell					
alte Type . . .	6 mm	5400 „	500 m	12 Siemens-Flaschen	0,23
neue Type. . .	6 mm	5400 „	500 m	12 Siemens-Fl. mit Ölfüllung	0,10
Erregerkreis mit Glasplattenkondensator	10 mm	7000 „	660 m	Kondensators mit Ölfüllung	0,07-0,085

2. Messung der Dämpfung eines Luftleiters.

a) mittels der Kompensationsmethode.

Man induziere von einem gemeinsamen Erregerkreise aus, der seinerseits statt mit Funkenstrecke auch eventuell mit Stoßerregung in Schwingungen versetzt werden kann, mit loser Kopplung zwei auf gleiche Wellenlänge gestimmte Schwingungskreise (Fig. 184), die voneinander unabhängig schwingen können. Der eine dieser beiden Kreise ist der zu untersuchende, der andere ein Vergleichskreis. Sowohl in dem untersuchten als in dem Vergleichskreise muß eine Vorrichtung zum Anzeigen der in ihm schwingenden Energie eingeschaltet werden. Der Vergleichskreis muß ebenso wie der gemeinsame Erregerkreis mit Einrichtungen zur Veränderung der Wellenlänge versehen sein und kann zweckmäßig ferner mit variablem induktionslosem Widerstand versehen sein. Ebenso kann er auch mit anderen Mitteln zur Veränderung der Dämpfung eingerichtet sein, z. B. mit einer Spule mit veränderlichem Kraftlinienwege. Man stimmt zunächst den Erregerkreis auf den zu untersuchenden Kreis und den Vergleichskreis auf den Erregerkreis ab. Durch Verstimmung des Erregerkreises treten dann in den beiden von ihm induzierten Kreisen Energieänderungen auf, aus denen man die Dämpfung des untersuchten Kreises kennt

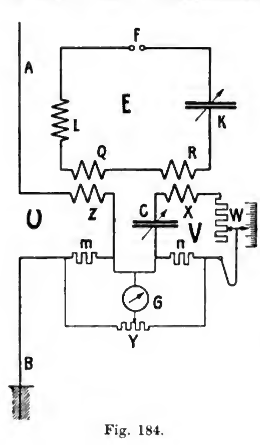


Fig. 184.

Digitized by Google

oder ermittelt. Macht man die Dämpfung im Vergleichskreise veränderlich, so kann man folgendermaßen vorgehen:

Die drei Kreise seien aufeinander abgestimmt. Sowohl im untersuchten, wie im Vergleichskreise wird die schwingende Energie durch Energieanzeiger abgelesen, und die Dämpfung des Vergleichskreises wird nun so lange variiert, bis bei Verstimmung des Erregerkreises in beiden induzierten Kreisen die schwingende Energie sich gleichmäßig ändert. Dies kann man auf die verschiedenste Art und Weise sichtbar machen; stellt man z. B. ein Instrument mit einem zwischen zwei Spulen frei beweglichen Magneten her und schickt in diese zwei Spulen aus den beiden induzierenden Kreisen gewonnene gegeneinander wirkende Gleichströme (z. B. durch ein Thermoelement oder ein Bolometer erhaltene Ströme), so muß der frei bewegliche Magnet bei gleicher Dämpfung beider Kreise bei Verstimmung des Erregerkreises in Ruhe bleiben, da sich infolge des konstanten Verhältnisses der schwingenden Energien beider Kreise für den Fall der gleichen Dämpfung auch die den Magnet bewegenden Kräfte in den beiden Spulen in konstantem Verhältnis ändern.

Die Gleichheit der Dämpfungen kann man auch mit Hilfe einer Kompensationsmethode nachweisen, indem man in einem gemeinsamen Meßinstrumente den Zeiger dadurch auf Null bringt, daß die schwingenden Energien gleichgemacht werden, bei Abstimmung der drei Kreise aufeinander, z. B. durch Veränderung der Kopplung des einen mit dem Erregerkreis. Bei Verstimmung des Erregerkreises muß jetzt der Zeiger auf Null bleiben, wenn die Dämpfungen des untersuchten und des Vergleichskreises gleich groß sind, denn die beiden im Instrumente gegeneinander wirkenden Energien ändern sich dann gleichmäßig. Es genügt selbstverständlich auch schon die Anwendung zweier getrennter Energieanzeiger. Bei gleicher Dämpfung müssen sich dann die von den beiden Energieanzeigern abgelesenen Ausschläge bei der Verstimmung des Erregerkreises im gleichen Maße ändern. Wird nun mittels einer vorher geeichten Skala oder auf andere Weise die durch die oben beschriebene Methode jeweilig gefundene Dämpfung des Vergleichskreises bekannt gemacht, so kennt man damit auch ohne weiteres die des untersuchten.

In der Fig. 184 ist eine Ausführungsform des Verfahrens dargestellt. E bedeutet den Erregerkreis, U den untersuchten Kreis (als offenen Schwingungskreis oder Luftleiter ausgebildet) und V den Vergleichskreis. Der Erregerkreis E ist hier beispielsweise

Digitized by Google

durch eine Funkenstrecke f in Schwingungen versetzt. K ist die variable Kapazität des Erregerkreises, L die Selbstinduktion desselben, Q und R sind eine oder mehrere Windungen zur Kopplung mit dem untersuchten und dem Vergleichskreise. Statt mit der Kapazität kann man selbstverständlich auch mit der Selbstinduktion die Wellenlänge des Erregerkreises veränderlich machen. Im untersuchten Kreise bedeutet A den Luftleiter, Z eine oder mehrere Windungen zur Kopplung mit dem Erregerkreise, m einen Bolometerwiderstand, B Erde oder Gegengewicht. Im Vergleichskreise V ist X die Selbstinduktion, C die variable Kapazität, w ein veränderlicher, induktionsloser Widerstand, n ein Bolometerwiderstand; sein variabler Kontakt führt gleichzeitig an einer Skala S entlang. G ist ein Galvanometer und Y ein Widerstand mit zum Galvanometer führendem Gleitkontakt.

Diese Methode hat den Nachteil, daß zwei teure und schwere Apparate, nämlich der geeichte Resonator und der geeichte Oszillator, erforderlich sind und bei praktischen Dämpfungsmessungen mitgeführt werden müssen.

b) Messung der Dämpfung eines Luftleiters mittels Widerstandsänderung.

Die Kopplung zwischen dem Luftleitergebilde und dem Erregerkreise muß eine möglichst lose sein.

In Fig. 185 ist A die Antenne, W ein in die Erdleitung geschalteter veränderlicher Widerstand, vor welchen ein Hitzdrahtinstrument J^2 beliebig kapazitiv, induktiv, konduktiv oder direkt geschaltet ist. O ist ein Erregerkreis, von welchem aus der Luftleiter erregt wird.

Der Messung liegt die Tatsache zugrunde, daß man die Dämpfung eines erregten Kreises, hier des Luftleiters, dadurch bestimmen kann, daß man in demselben einen Widerstand W einschaltet und hierbei die Änderung des Ausschlages im Hitzdrahtinstrument beobachtet. Es sei im folgenden $\mathfrak{d}_1$ die Dämpfung des Erregerkreises O, $\mathfrak{d}_{a1}$ die Dämpfung des Luftleitergebildes. $\mathfrak{d}_a$ sei die erste Annäherung dieser Dämpfung $\mathfrak{d}_{a1}$, welche durch eine einfache, aber ungenaue Rechnungsmethode zunächst gefunden wird. α sei der Ausschlag des Hitzdrahtinstrumentes, wenn der Widerstand nicht eingeschaltet ist, α' sei der Ausschlag des Hitzdrahtinstrumentes, wenn der Widerstand eingeschaltet ist, λ sei die Wellenlänge, auf die die beiden Kreise, jeder für sich, abgestimmt sind. C_a sei die Hochfrequenzkapazität des Luftleiters.

Digitized by Google

Die Messung geht nun folgendermaßen vor sich:

Man erregt den Senderkreis O mit einer möglichst regelmäßigen Funkenzahl, wobei man, wie aus Abb. 185 ersichtlich ist, den Luftleiter lose mit dem Erregerkreis gekoppelt und im Luftleiter den Widerstand W und das Hitzdrahtinstrument J^2 eingeschaltet hat. Wird nun der Widerstand W kurz geschlossen, so sei der Ausschlag im Hitzdrahtinstrument gleich α. Man schaltet nun den Widerstand W ein und liest den Ausschlag α' im Hitzdrahtinstrument ab. Die Messung ist am genauesten, wenn α' ca. die Hälfte von α ist, und man variiert deswegen zweckmäßig so lange den Widerstand W, bis dies ungefähr erreicht ist. Hat man so einen Widerstand W in Ohm gefunden, so gilt in erster Annäherung für die Dämpfung des Luftleiters

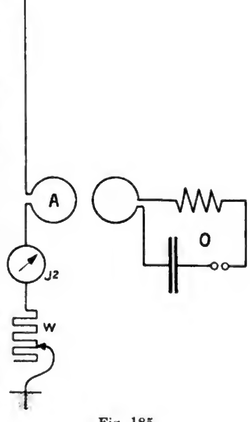


Fig. 185.

$$\mathfrak{d}_a = \frac{2}{300} \cdot \frac{\alpha'}{\alpha - \alpha'} \cdot \frac{W^{Ohm} \cdot C_a^{cm}}{\lambda^m} .$$

Hierbei ist C_a in cm (elektrostatisch) und λ in m zu setzen.

Diese angenährte Größe von $\mathfrak{d}_a$ entspricht der wirklichen Dämpfung des Luftleiters mit genügender Genauigkeit nur dann, wenn die Dämpfung $\mathfrak{d}_1$ des Erregerkreises O mindestens 10- bis 20mal größer ist, als die Dämpfung $\mathfrak{d}_a$ des Luftleiters. Dies ist jedoch im allgemeinen nicht der Fall. Es müßte somit vor der Messung durch eingeschaltete Widerstände, wie z. B. durch ein eingeschaltetes galvanisches Bad, die Dämpfung $\mathfrak{d}_1$ groß genug gemacht werden.

Da in den meisten Fällen bei den Stationen der Strahlentelegraphie ein derartiger Widerstand schwer herzustellen ist, nimmt man besser noch eine zweite Messung vor, welche die Anwendung einer Annäherungsformel gestattet und durch welche man, ohne künstliche Dämpfung des Erregerkreises vornehmen zu müssen, einen vollkommen genügend genauen Wert $\mathfrak{d}_{a1}$ der Luftleiterdämpfung findet.

Man bestimme mit Hilfe eines Resonanzkreises auf bekannte Weise die Dämpfung $\mathfrak{d}_1$ des Erregerkreises O. Bei dieser Messung

Digitized by Google

muß der Luftleiter vom Erregerkreis abgeschaltet werden, damit er auf dieses Meßresultat keinen störenden Einfluß hat. Mit Hilfe dieser durch Messung gefundenen oder eventuell auch nur geschätzten Dämpfung $\mathfrak{d}_1$ kann man nun mit sehr guter Annäherung aus folgender Formel die wirkliche Dämpfung des Luftleiters $\mathfrak{d}_{a1}$ berechnen:

$$\mathfrak{d}_{a1} = \mathfrak{d}_a \left(1 + \frac{\alpha}{\alpha'} \cdot \frac{\mathfrak{d}_a}{\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_a}\right).$$

Diese Annäherungsformel gibt gut übereinstimmende Werte in allen den Fällen, wo das Verhältnis $\alpha : \alpha'$ sich vom Werte 2 nicht mehr als ca. 10% unterscheidet, und wo $\mathfrak{d}_{a1}$ nicht mehr als 10mal größer ist als $\mathfrak{d}_1$. Für den Fall, daß $\mathfrak{d}_1$ wesentlich größer als $\mathfrak{d}_a$ und $\mathfrak{d}_{a1}$ ist, wird $\mathfrak{d}_{a1}$ angenähert gleich $\mathfrak{d}_a$, und es braucht die Dämpfung des Erregerkreises dann nicht mehr berücksichtigt zu werden.

Zum Schluß sei noch bemerkt, daß auch bei Anwendung vollkommen ungedämpfter Schwingungen im Senderkreis die Rechnung sich sehr vereinfacht, indem in der Formel (Seite 201)

$$\mathfrak{d}_2 = \frac{\triangle \mathfrak{d}_2}{\frac{\alpha}{\alpha_1} \cdot \frac{\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2}{\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2 + \triangle \mathfrak{d}_2} - 1}$$ die Dämpfung $\mathfrak{d}_1$ gleich Null wird.

Die Vorteile der beschriebenen Methode bestehen darin, daß es nicht erforderlich ist, einen stark gedämpften Erregerkreis anzuwenden, sondern daß es möglich ist, bei Benutzung des normalen, auf der Station befindlichen Erregerkreises und unter Anwendung nur eines einfachen Hitzdrahtinstrumentes in Verbindung mit einem Widerstand, der möglichst selbstinduktionslos und kapazitätslos ausgebildet sein muß, Dämpfungsmessungen an Luftleitern mit einer für die strahlentelegraphische Praxis relativ hohen Genauigkeit (etwa 5%) und schnell vorzunehmen.

13. Dämpfungsmessungen von Brandes.

1. Dämpfungsmessung eines Erregerkreises mit Funkenstrecke mittels des Franke-Dönitzschen Wellenmessers. ×

Die Abnahme der Amplituden einer gedämpften Schwingung erfolgt nach dem Gesetz

$$V = V_0 \cdot e^{-\nu \mathfrak{d} t}.$$

Wenn

$$\nu . t = \frac{1}{\mathfrak{d}}$$

volle Perioden verstrichen sind, besitzt die Amplitude noch die

× Bisher nicht veröffentlicht.

Digitized by Google

Größe
$$\frac{V_o}{e} = \frac{V_o}{2{,}72} = \sim \frac{1}{3} V_o$$

Brandes bezeichnet nun die Zahl der Perioden, in denen die Amplituden von ihrem Anfangswert auf den dritten (e-ten) Teil desselben heruntergehen als „Resonanzgrad" oder „Resonanzcharakteristik". Diese Definition hat den Vorteil, daß man ohne weiteres das Dekrement $\mathfrak{d}$ herstellen kann, bzw. daß man direkt von dem Dekrement auf den Resonanzgrad schließen kann. Hat man z. B. in einem gedämpften System das Dekrement $\mathfrak{d} = 0{,}25$, so ergibt dies den Resonanzgrad 4, d. h. nach vier ganzen Perioden ist die Anfangsamplitude auf ihren dritten Teil herabgegangen.

Ferner geht aus dieser Bezeichnungsweise ohne weiteres die Gestalt der Resonanzkurve hervor, indem diese nämlich einen um so kleineren Krümmungsradius besitzt, je größer der Resonanzgrad ist.

Wenn man, wie Brandes ferner vorschlägt, das Dämpfungsdekrement mit „Dämpfungsgrad" oder „Dämpfungscharakteristik" bezeichnet, so stellt der Dämpfungsgrad den reziproken Wert des Resonanzgrades dar.

Bei Anwendung des Franke-Dönitzschen Wellenmessers mit variabler Kapazität und konstanter Selbstinduktion läßt sich der Resonanzgrad sehr einfach wie folgt feststellen:

Als Resonanzindikator wird ein Energieanzeiger (Bolometer, Thermoelement) gewählt, dessen Angaben proportional sind
$$n \int i^2 \, dt$$
wo i der Strom im Resonanzsystem und n die Anzahl der aufgenommenen Schwingungen ist, bzw. die Unterbrechungszahl darstellt, die während des Versuches konstant sein muß. Man kann mit den so erhaltenen Werten eine Kurve zeichnen (Fig. 186), in der als Ordinaten die Ausschläge α des Energieanzeigers und als Abszissen die Kapazitätsstellungen aufgetragen sind. In dem Diagramm sind ferner zwei zur Abszisse parallele Linien gezogen, und zwar eine Linie für $^4/_5 \alpha_{max}$ und eine für $^3/_4 \alpha_{max}$, wobei α_{max} den Resonanzwert angibt.

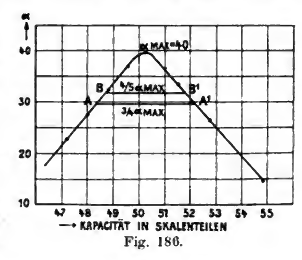


Fig. 186.

Digitized by Google

Man kann aus der Kurve ohne weiteres ablesen:

für $^4/_5 \alpha_{max}$ ist der Resonanzgrad $= 0{,}318 \frac{C_r}{B' - B} = \sim 0{,}32 \frac{C_r}{B' - B}$

„ $^3/_4 \alpha_{max}$ „ „ „ $= 0{,}368 \frac{C_r}{A' - A} = \sim 0{,}37 \frac{C_r}{A' - A}$

Hierin bedeutet C_r die Resonanzkapazität, $A' - A$ die Kapazitätsdifferenz für $^3/_4 \alpha_{max}$, $B' - B$ die Kapazitätsdifferenz für $^4/_5 \alpha_{max}$. Aus beiden Werten ist der Mittelwert zu nehmen.

Das Verfahren könnte umständlich erscheinen, da man offenbar die Resonanzkurve aufnehmen und zeichnen muß. Das ist aber keineswegs erforderlich. Man hat vielmehr zunächst nur α_{max} zu bestimmen und davon $^3/_4$ zu nehmen und die Kapazität so lange zu ändern, bis diesen Wert der Resonanzindikator anzeigt. Wenn man hierbei kleinere oder größere Kapazitätswerte einstellt, erhält man $A' - A$. Dasselbe ist für $B' - B$ auszuführen. Der Mittelwert aus diesen beiden Einzelwerten des Resonanzgrades gibt mit großer Annäherung den tatsächlichen Wert für den Resonanzgrad.

Die Brandesschen Untersuchungen mit einem Wellenmesser mit Luftthermometer und Resonatorkreis mit Bolometer zur Kon-

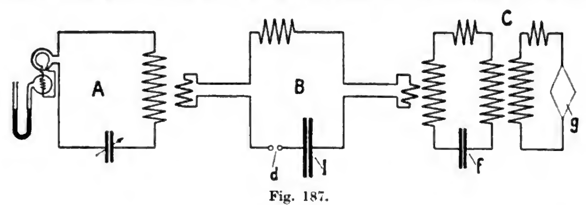


Fig. 187.

trolle (Fig. 187) haben gezeigt, daß das Luftthermometer als Indikator völlig ungeeignet ist, und zwar sowohl an sich durch seine Variabilität, wie auch durch die zu feste Kopplung (beim Franke-Dönitzschen Wellenmesser) mit dem Meßsystem. Die dadurch in die Meßresultate hineinkommenden Fehler waren so beträchtlich, daß der Resonanzgrad um ca. 20 bis 25% zu klein, die Dämpfung mithin zu groß ausfiel.

In Fig. 187 bezeichnet *A* den Franke-Dönitzschen Wellenmesser, *B* das zu untersuchende System, welches eine Wellenlänge von 336 m besaß, *C* einen Resonator mit Bolometer, *d* war eine 5 mm-Funkenstrecke, *l* eine Flaschenkapazität von 5000 cm. *f* ist ein

Luftkondensator, g ein Bolometer. Mit dieser Anordnung wurden folgende Untersuchungen des Wellenmessers an einem wenig gedämpften System angestellt:

1. Gemessen wurde mit dem Bolometer. Der Wellenmesser war zwar gekoppelt, aber nicht in Resonanz. Es ergab sich: Bolometer — Galvanometerausschlag = 99 Skalenteile,

   $$\text{Resonanzgrad} = \frac{1}{\text{Dämpfungsfaktor}} = 7{,}40$$

2. Wie oben. Der Wellenmesser war jedoch in Resonanz. Bolometer — Galvanometerausschlag = 78 Skalenteile, wobei das Wellenmeßthermometer eingeschaltet war [Bolometer — Galvanometerausschlag = 79 Skalenteile, wenn das Thermometer nicht eingeschaltet war]

   $$\text{Resonanzgrad} = \frac{1}{\text{Dämpfungsfaktor}} = 6{,}00$$

   Diese Werte zeigen, wie beträchtlich die Thermometerkopplung auf die Dämpfung einwirkt, die dadurch zu groß wird.

3. Der richtige Resonanzgrad war nach Versuch 1 mit dem Bolometer bestimmt worden. Er sollte nun auch entsprechend mit dem Wellenmesser und Thermometer festgestellt werden. Hierzu wurden zwei Resonanzausschläge herbeigeführt.

Bei dem Resonanzausschlag 32 war der Resonanzgrad = 5,82, beim Resonanzausschlag 19 war der Resonanzgrad = 6,25.

Wahrscheinlich kommt auch hier der kleinere, erste Wert durch die feste Kopplung des Resonanzkreises. Die Differenz zwischen dem wahren Wert (7,40) und dem in Betracht kommenden Wellenmesserwert (6,25) beträgt somit 15%.

Die Versuche zeigen, daß der Franke-Dönitzsche Wellenmesser mit Benutzung eines fest gekoppelten Hitzdrahtthermometers für Dämpfungsmessungen ungeeignet ist, da der Dämpfungsfaktor zu groß angegeben wird. Durch Benutzung eines geeigneten Bolometers oder Thermometers läßt sich dieser Mißstand beheben, so daß die Brandessche Methode wegen direkter Bestimmung des Resonanzgrades und des Dämpfungsfaktors für bestimmte Zwecke besonders geeignet erscheint.

Digitized by Google

2. Dämpfungsmessung eines Luftleitergebildes ohne Funkenstrecke.×

Diese Messungen verdienen deshalb besonderes Interesse, weil durch sie quantitative Unterschiede hinsichtlich der Dämpfung von einfachen und mehrfachen Sendedrähten in einer Form, die sich an die Ausführungen der Praxis anlehnt, nachgewiesen werden. Von Wert sind auch die Vergleichsresultate der durch Versuche bestimmten Werte und der durch Rechnung, nach der Abrahamschen Theorie, gefundenen Größen.

Fig. 188 stellt die Versuchsanordnung dar. *a* ist ein Induktor, *b* eine Funkenstrecke, bestehend aus Zinkkugeln, *c* eine Leydener Flaschenkapazität von 3040 cm, *d* ist ein variabler Ölkondensator, *e* ein Drahtviereck, das den Erregerkreis schließt. Von diesem wurde induziert auf das Luftleitersystem *fgh*, welches aus den

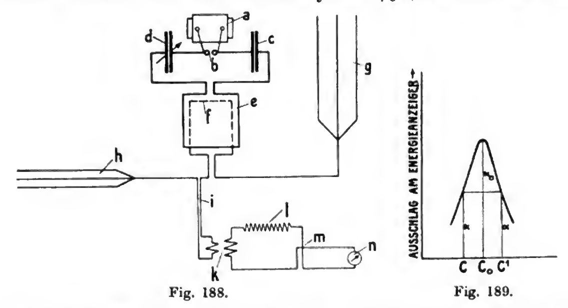


Fig. 188. Fig. 189.

aus blankem Kupferdraht bestehenden, ca. 37 m langen Antennendrähten *g* gebildet wurde, die an Porzellanisolatoren 3,5 m von der Wand eines Turmes entfernt aufgehängt waren. Der Abstand der Drähte voneinander betrug rund 3,5 m. Der Turm enthielt im Innern geerdete Gas- und Wasserleitungsröhren. *h* waren drei den Luftdrähten entsprechende Symmetriedrähte, die 2 m über dem Erdboden ausgespannt waren, bei einem gegenseitigen Abstand von 30 cm.

Von *f* abgezweigt war das Meßsystem. Dieses bestand aus gut isolierten, herausgeführten Drähten *i*, der Kopplung *k*, einer Induktanz *l*, einem Bolometer *m* und einem Indikationsinstrument *n*.

× H. Brandes, Dissertation, Straßburg, 1906. Ann. der Physik. 22. p. 640. 1907. (Über die Dämpfung und Energieausnutzung einiger Sendeanordnungen der drahtlosen Telegraphie.)

Digitized by Google

Um die Dekremente vom Schwingungs- und Resonanzkreis (die klein sind gegen 2π) zu bestimmen, benutzt Brandes die folgende etwas umgewandelte Formel von Bjerknes

$$\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2 = 2\pi\left(1 - \frac{\nu}{\nu_o}\right)\sqrt{\frac{\alpha}{\alpha_o - \alpha}}$$

worin ν_o die Resonanzperiodenzahl entsprechend α_o
ν „ Periodenzahl bei α ist.

Mit Rücksicht auf die in Fig. 189 eingetragenen Bezeichnungen gilt:

$$\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2 = \frac{C^1 - C}{C_o} \cdot \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{1}{\frac{\alpha}{\alpha_o} - 1}}$$

Meßresultate:

a) 1 Sender, blanker Kupferdraht von 1,4 mm ϕ

$\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2 = 0{,}214$
(Schwingungskreisdämpfung) $- \quad \mathfrak{d}_2 = 0{,}100$
(Luftleiterdämpfung) $\mathfrak{d}_1 = 0{,}114$

b) 1 Sender, blanker Kupferdraht von 2 mm ϕ

$\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2 = 0{,}228$
$- \quad \mathfrak{d}_2 = 0{,}100$
$\mathfrak{d}_1 = 128$

c) 2 Sender, 7 m Abstand, blanker Kupferdraht von je 1,4 mm ϕ

$\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2 = 0{,}292$
$- \quad \mathfrak{d}_2 = 0{,}100$
$\mathfrak{d}_1 = 0{,}192$

d) 2 Sender, 3,5 m Abstand, blanker Kupferdraht von 1,4 mm ϕ und von 2 mm ϕ

$\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2 = 0{,}303$
$- \quad \mathfrak{d}_2 = 0{,}100$
$\mathfrak{d}_1 = 0{,}203$

e) 3 Sender, 3,5 m Abstand, blanker Kupferdraht, davon zwei Drähte zu 1,4 mm ϕ, ein Draht zu 2 mm ϕ

$\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2 = 0{,}348$
$- \quad \mathfrak{d}_2 = 0{,}100$
$\mathfrak{d}_1 = 0{,}248$

Nach der Abrahamschen Theorie findet man rechnerisch für Sender unter a) $\mathfrak{d}_1 = 0{,}224$, für Sender unter b) $\mathfrak{d}_1 = 0{,}232$, d. h. wesentlich größere Dämpfungen. Der Unterschied mag daher rühren, daß bei der Versuchsanordnung keine reinen Verhältnisse,

Digitized by Google

wie etwa der Theorie zugrunde gelegt, vorliegen, sondern daß wahrscheinlich durch den Turm, der in seinem Innern Leiter enthält, das Schwingungssystem mehr oder weniger geschlossen wird.

---

14. Dämpfungsmessungen von Tissot.

Die Dämpfungsmeßmethode von Tissot[×] ist rein auf die Bjerknessche Theorie gegründet. Das daselbst Mitgeteilte gilt sinngemäß für die folgenden Ausdrücke. Nach einer Richtung indessen hat Tissot die Bjerknessche Theorie weiterverfolgt und ausgebaut, nämlich in bezug auf die Bestimmung des Intensitätsfaktors $\mathfrak{A}$; hierfür stellt Tissot bei Anwendung eines Bolometers als Energieanzeiger folgenden Ausdruck auf:

$$J^1 = K^2 \left(\frac{\mathfrak{A}}{4}\right)^2 \frac{x^2 X^2 (\gamma X + \delta x)}{\gamma \delta [(\gamma X + \delta x)^2 + 4 \pi^2 (x - X)^2]}$$

Hierin ist J^1 = thermischer Effekt, K = Proportionalitätsfaktor, der von der Wahl der Einheiten abhängt, ferner

$\mathfrak{A}$ = Intensitätsfaktor,
x = Periode des Oszillators,
X = Periode des Resonators,
γ = Dämpfungsdekrement des Oszillators,
δ = Dämpfungsdekrement des Resonators.

Wenn sich Oszillator und Resonator in Resonanz befinden, hat man

$$J^1 = K^2 \left(\frac{\mathfrak{A}}{4}\right)^2 \frac{X^3}{\gamma \delta (\gamma + \delta)}$$

oder

$$J^1 \gamma \delta (\gamma + \delta) = \text{konstant}.$$

Zur Bestimmung der Dekremente stellt Tissot nach Bjerknes folgende drei Gleichungen auf:

$$\gamma = 2 \frac{Y \omega^2 - Y_1 \omega_1^2}{Y \omega - Y_1 \omega_1}$$

$$\delta = 2 Y_1 \omega_1 \frac{\omega_1 - \omega}{Y \omega - Y_1 \omega_1}$$

$$\delta_1 = 2 Y \omega \frac{\omega_1 - \omega}{Y \omega - Y_1 \omega_1}$$

× Tissot, M. C., Étude de la Résonance des Systèmes d'Antennes dans la Télégraphie sans fils. Paris, 1906, p. 113 ff.

Digitized by Google

Hierin bedeuten: Y und Y_1 die Energiebeträge am Bolometer, und es ist

$$\omega = \frac{\gamma + \delta}{2}; \quad \omega_1 = \frac{\gamma + \delta_1}{2}$$

wobei δ_1 die Bedeutung einer gegen δ geänderten Resonatordämpfung besitzt.

Um die Periodenzahlen von Antennen zu messen, benutzt Tissot einen Resonanzkreis nach Fig. 190. AB ist ein variabler Luftkondensator, D ist ein Bolometer, an Stelle dessen auch ein direkt eingeschaltetes Hitzdrahtinstrument von Hartmann & Braun oder Carpentier (in der Figur punktiert gezeichnet) Verwendung fand.

Entsprechend obigem sei γ das Dekrement der Antenne, δ das Dekrement des Resonators. Dann gilt nach Bjerknes:

$$\omega = \frac{\pi}{X}\sqrt{\frac{a\,b\,c}{d}}$$

(siehe Bjerknes, Seite 171).

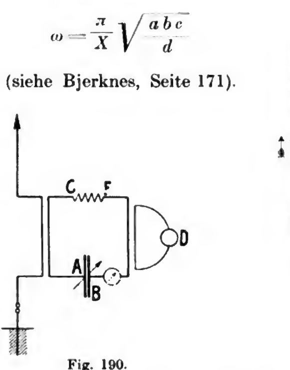


Fig. 190.

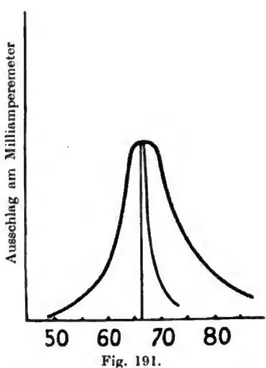


Fig. 191.

In den Fig. 191 und 192 sind zwei an einfachen und an mehrfachen Antennen von 60 m, bzw. 42 m Länge aufgenommene Resonanzkurven dargestellt. Für die Antenne von Fig. 191 ist $X = 66{,}5$, $\omega = 0{,}29$.

Für die in Fig. 192 wiedergegebene Antenne (4 Drähte von je 38 m Länge) ist $X = 51$, $\omega = 0{,}54$.

Die Figuren, welche sich auf auf dem Lande gebrauchte Antennen beziehen, zeigen auch die Mittelpunktskurve der Sehnen, Hyperbeln, deren Asymptoten die Resonanzkurven in den Isochronitätspunkten schneiden.

Digitized by Google

Die starke Abplattung der Kurve in Fig. 192 bringt den großen Wert von ω zum Ausdruck.

Die Messung der Antennendämpfung bewerkstelligt Tissot in der Weise, daß er in das Resonanzsystem (Fig. 190) einen dünnen Platinwiderstand CF einschaltet. Auf diese Weise erhält der Resonator eine andere Dämpfung, und man hat die Gleichungen:

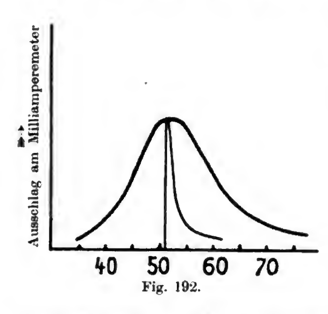


Fig. 192.

$$\omega = \frac{\gamma + \delta}{2}; \quad \omega_1 = \frac{\gamma + \delta_1}{2}$$

Nach Bjerknes gilt ferner:

$$Y \omega \delta = Y_1 \omega_1 \delta_1$$

$$\gamma = 2 \frac{\frac{Y}{Y_1} \omega^2 - \omega_1^2}{\frac{Y}{Y_1} \omega - \omega_1} = \text{Dämpfung}$$

fung des Oszillators, d. h. der Antenne.

Für die Schiffsstationen ergaben sich andere, nämlich kleinere Dämpfungswerte als für die Landstationen, was wohl im wesentlichen in den besseren Erdungsverhältnissen bei ersteren seinen Grund hatte.

Aus der großen Zahl der Antennenmessungen seien nachfolgend einige Daten wiedergegeben:

Einfache Antennen. Drahtstärke 0,3 cm bis 0,4 cm ϕ.

Antennenlänge:	ω	ω_1	$\frac{Y}{Y_1}$	$\frac{\gamma}{2}$
40 m	0,39	0,45	2,35	0,33
50 m	0,30	0,40	4,5	0,28
60 m	0,31	0,36	2,2	0,26

Vielfach-Antennen. Drahtstärke wie oben.

Ganze Länge:	Antennenanordnung	ω	ω_1	$\frac{Y}{Y_1}$	$\frac{\gamma}{2}$
40 m	38 m. 4 Drähte 1 m Abstand	0,53	0,62	2,1	0,42
52 m	50 m. 4 Drähte 1 m Abstand	0,46	0,49	2,1	0,39
60 m	50 m. 4 Drähte 1 m Abstand	0,44	0,55	2,6	0,35

Mithin ist die Dämpfung von Vielfach-Antennen größer als die von Einfach-Antennen.

Digitized by Google

Neuerdings hat Tissot[×] eine graphische Dämpfungsbestimmungsmethode angegeben. Diese besteht in folgendem:

Die Schwingungsenergie im Resonator ist proportional dem Quadrate der im Resonator vorhandenen Stromstärke. Wenn man letztere mit i bezeichnet, gilt nach dem früher Mitgeteilten:

$$m^2 z^2 = \gamma \delta (\gamma + \delta)$$

wo

$$z = \frac{1}{i}$$

γ = Dämpfungsdekrement des Oszillators,
δ = Dämpfungsdekrement des Resonators

und m ein noch zu erklärender Faktor ist.

Der Resonator sei nun entsprechend Fig. 190 so eingerichtet, daß verschieden groß bemessene induktionslose Widerstände CF eingeschaltet werden können; dann wird entsprechend den zugeschalteten Widerständen das Resonatordekrement um bestimmte Beträge x verändert, so daß man verschieden große Werte $(\delta + x)$ erhält. Das Oszillatordekrement γ soll hierbei konstant bleiben.

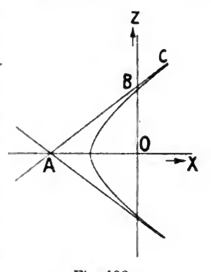


Fig. 193.

Wenn man die Resonatordämpfungswerte (bzw. Widerstandswerte) als Ordinaten aufträgt, erhält man eine Hyperbel, deren einer Ast beispielsweise in Fig. 193 dargestellt ist. Die Gleichung dieser Hyperbel lautet:

$$x^2 - m^2 z^2 + 2\left(\delta + \frac{\gamma}{2}\right) x + \delta (\gamma + \delta) = 0$$

Die Asymptoten dieser Hyperbel folgen dem Ausdruck:

$$m\, z = \pm x + \left(\delta + \frac{\gamma}{2}\right)$$

Die Abszisse des Scheitelpunktes:

$$x_o = -\left(\delta + \frac{\gamma}{2}\right) = OA$$

Bei kleinen Dekrementen fallen von einem Punkte B der Kurve an die Hyperbeln praktisch mit den Asymptoten zusammen, so daß diese nach Messung direkt gezeichnet werden können.

[×] Tissot, Bulletin de la Soc. Jntern. d'Électriciens, Tome 6, No. 52, p. 319. Paris 1906. „Les Méthodes des Mésures dans la Télégraphie sans fils."

Digitized by Google

Der Punkt A kann somit aus dem Diagramm gefunden werden, und es ist daher $\delta + \frac{\gamma}{2}$ gegeben.

Man kann infolgedessen mit einem in Frequenzen geeichten Resonanzkreis und einer Reihe geeichter selbstinduktionsloser Widerstände, deren Widerstandswerte man kennt, das Dekrement eines beliebigen Schwingungssystems direkt bestimmen, indem man zunächst die Frequenz feststellt (eventuell die Resonanzkurve aufzeichnet) und darauf bei der Resonanzstellung den Widerstand im Resonator allmählich oder stufenweise vergrößert. Durch dieses letztere Vorgehen erhält man die Asymptote BC und damit $\delta + \frac{\gamma}{2}$. Die ursprüngliche Resonatordämpfung δ muß hierzu bekannt sein.

Wenn dieses Dekrement nicht bekannt ist, schlägt Tissot vor, in den Oszillator, z. B. die Antenne, selbstinduktionslose Widerstände (Glühlampen mit in einer Richtung verlaufendem Kohlefaden) einzuschalten und hiermit das Oszillatordekrement zu verändern. Diese Widerstände werden zweckmäßig viel größer bemessen, als die in den Resonator eingeschalteten Widerstände.

Man erhält entsprechend dem obigen Verfahren bei Veränderung der Widerstände abermals eine Hyperbel und hat die Gleichung:

$$y_o = \gamma + \frac{\delta}{2}$$

wo y_o die entsprechende Abszisse OA bezeichnet.

Man kann nun δ leicht so klein halten, daß $\frac{\delta}{2}$ ohne weiteres gegen γ vernachlässigt werden kann.

Schließlich kann man auch mit Hilfe von zwei verschieden groß bemessenen Widerständen bei konstanter Resonatordämpfung direkt die Selbstinduktion der beiden Kreise und damit die Dämpfung finden.

Digitized by Google

15. Dämpfungsmeßmethode und Dämpfungsmesser von Fleming.

Zur Ausführung von Dämpfungsmessungen hat Fleming neuerdings das von ihm konstruierte Cymometer mit einem besonderen Zusatzapparat versehen, der in der Kombination eines Kupferbügels, in welchen ein Thermoelement mit Amperemeter oder Galvanometer und ein Widerstand eingeschaltet sind, besteht.

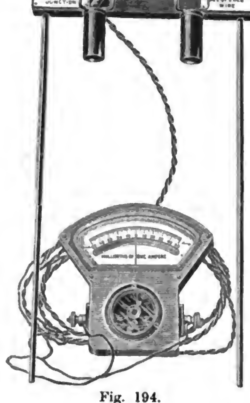


Fig. 194.

Diesen Zusatzapparat gibt Fig. 194 wieder. Rechts oben in der Figur ist in einer auswechselbaren Hartgummibüchse ein dünner Widerstandsdraht eingeschlossen, links ist die das Thermoelement enthaltende Hartgummibüchse erkennbar. Letzteres ist mittels eines Doppellitzendrahtes mit einem Widerstand und einem Milliamperemeter verbunden. Sowohl das Thermoelement, wie der Widerstand können durch Kurzschlußbügel in ihrer Wirksamkeit unterbrochen, bzw. vollkommen abgeschaltet werden.

In welcher Weise der Zusatzapparat mit dem Cymometer verbunden ist, zeigt Fig. 195. Das wiedergegebene Cymometer ist ein solches neuester Ausführung, das mit zwei Teleskopkondensatoren ausgerüstet ist und einen Meßbereich bis 1400 m beherrscht.

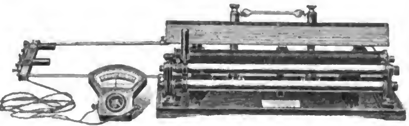


Fig. 195.

Das Vorgehen bei der Dämpfungsmessung ist folgendes:

a) Eichung des Galvanometers.

Das Galvanometer, ein Widerstand, der zwischen 20 und 200 Ohm variabel ist, ein Akkumulator von ungefähr 2 Volt

Digitized by Google

Spannung und das Thermoelement werden in Serie geschaltet, und es werden bei verschiedenen Widerstandswerten die entsprechenden Ausschläge am Galvanometer abgelesen und mittels eines in den Kreis eingeschalteten Milliamperemeters auf Stromstärkenwerte reduziert. Man erhält auf diese Weise eine Eichkurve, welche für eine bestimmte Thermoelement-Galvanometerkombination gilt. Diese Kurve findet für die Bestimmung der Stromwerte (α) direkte Anwendung.

b) Meßmethode.

Zunächst werden von voll eingeschalteter Kapazität an bei allmählicher Kapazitätsverkleinerung die zu jeder Kapazitäts- und Selbstinduktionsstellung gehörenden Werte am Galvanometer abgelesen. [×] Diese nehmen bis zu einer gewissen Grenze zu und dann wieder ab. Die an der Skala des Cymometers abgelesenen Beträge der Oszillationskonstanten können nach dem Ausdruck:

$$\text{Frequenz} = \frac{5\,000\,000}{\text{Oszillationskonstante}}$$

ohne weiteres bestimmt werden. Ferner sind durch die Eichung die am Galvanometer abgelesenen Zahlen direkt in Ampere bekannt. Man kann somit eine Resonanzkurve zeichnen, da die Abszissen (Frequenzen) und die Ordinaten (Stromwerte) bekannt sind. Während diese Resonanzkurve bei eingeschaltetem Widerstand im Zusatzapparat gezeichnet wurde, wird nunmehr der Widerstand kurzgeschlossen und eine neue Resonanzkurve ohne Zusatzwiderstand aufgenommen.

Fig. 196.

Es gelten dann nach Bjerknes und Drude folgende Beziehungen (siehe Fig. 196), wenn ν_0 ungefähr gleich ν ist:

$$\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2 = 2\pi\left(1 - \frac{\nu}{\nu_0}\right)\sqrt{\frac{\alpha}{\alpha_0 - \alpha}}$$

× Es ist ein Nachteil der Cymometerkonstruktion, daß die Selbstinduktion nur stufenweise veränderlich ist, indem der Kontakt von Windung zu Windung springt.

Digitized by Google

Hierin ist $\mathfrak{d}_1$ entsprechend ν_0 die Dämpfung des zu messenden Systems und $\mathfrak{d}_2$ entsprechend ν die Dämpfung des Cymometers.

Fleming setzt für die Dekremente der halben Perioden

$$x = 1 - \frac{\nu}{\nu_0} \qquad \text{und} \qquad y = \frac{\alpha}{\alpha_0};$$

dann folgt:

$$\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2 = \pi\, x \cdot \frac{y}{\sqrt{1 - y^2}} = X$$

Bei den Messungen soll berücksichtigt werden, daß $\frac{\nu}{\nu_0}$ nicht kleiner als 0,95 und nicht größer als 1,05 wird.

Nachdem mehrere zusammengehörende Werte bestimmt sind und aus diesen das Mittel genommen ist, wird im Zusatzapparat der Widerstand eingeschaltet und eine zweite Resonanzkurve aufgenommen, wobei sich das Cymometerdekrement $\mathfrak{d}_2'$ ergibt. Man hat dann entsprechend Fig. 196:

$$\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2 + \mathfrak{d}_2' = \pi \cdot x \frac{y}{\sqrt{1 - y_2}} = X_1$$

Wenn α_0 und α_1 die maximalen Intensitätswerte bei eingeschaltetem Widerstand, bzw. nicht eingeschaltetem Widerstand sind, erhält man nach mehreren Umrechnungen:

$$\mathfrak{d}_1 = X - \frac{X_1 \cdot \mathfrak{d}_2'}{\left(\frac{\alpha_0}{\alpha_1}\right)^2 X - X_1}$$

Man hat somit durch Subtraktion auch $\mathfrak{d}_2$, d. h. die Dämpfung des Cymometers. Daher ist auch nach der Formel

$$M = \frac{4{,}605 + \mathfrak{d}_1}{2\,\mathfrak{d}_1}$$

die Anzahl der Schwingungen gegeben, bis dieselben unter 1°/₀ des Anfangswertes gesunken sind.

Experimentelles Beispiel: Für die weniger gedämpfte Resonanzkurve eines Systems ergaben sich als Mittelwerte:

$$y = 0{,}825$$
$$x = 0{,}229$$
$$X = 0{,}108$$

Für die stärker gedämpfte Kurve war:

$$y = 0{,}825$$
$$x = 0{,}270$$
$$X = 0{,}126$$

Digitized by Google

Ferner

$$\frac{\alpha_0}{\alpha_1} = 1{,}53$$

und damit

$$\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2 = 0{,}108$$
$$\mathfrak{d}_1 + \mathfrak{d}_2 + \mathfrak{d}_2' = 0{,}126$$
$$\mathfrak{d}_2' = 0{,}018$$
$$\mathfrak{d}_2 = 0{,}017$$
$$\mathfrak{d}_1 = 0{,}091$$

Es war ferner für $\mathfrak{d}_1 = 0{,}091$, $\nu_0 = 0{,}95 \cdot 10^6$ und $M = 25$. Das Dekrement des Cymometers ergab sich zu $\mathfrak{d}_2 = 0{,}005$.

Der Funkenzähler der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie.

Für manche Zwecke, z. B. für die Kontrolle und Beurteilung der Arbeitsweise von mit Funkenstrecken arbeitenden Oszillatoren, ist es erwünscht, die Zahl der Funkenübergänge in der Zeiteinheit genau zu kennen. Man kann das so erreichen, daß man mit dem Schwingungssystem mehr oder weniger fest ein zweites Schwingungssystem, das eine Funkenstrecke enthält, koppelt und durch diese ein Papierband, z. B. einen Morsestreifen, gleichmäßig hindurchbewegt und in einem bestimmten Intervall die von den Funken erzeugten Löcher zählt. Dieses Verfahren ist aber einmal infolge der Aufstellung des zweiten Kreises mit der Nebenfunkenstrecke zu kompliziert, und vor allem gestattet es nur eine nachträgliche Feststellung der Funkenzahl.

Hierauf beruht auch ein von Fleming[×] angegebener Funkenzähler. Bei diesem ist mit dem Hauptschwingungskreis, dessen Funkenzahl festgestellt werden soll, ein Nebenkreis gekoppelt; durch die Funkenstrecke dieses letzteren läuft ein Papierband, welches außerdem durch eine von einem Fallpendel betätigte Markierungsvorrichtung durchlocht wird. Auch mit dieser, im übrigen eine Menge von Hilfsmitteln verlangenden Anordnung ist es, wenigstens, wenn man nicht besondere, von Fleming nicht be-

[×] Fleming, The Principles of Electric Wave Telegraphy, p. 158. 1906.

Digitized by Google

schriebene Einrichtungen anwendet, selbstverständlich ausgeschlossen, während des Funkengebens die Funkenzahl festzustellen.

Der Funkenzähler× der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie unterscheidet sich von der genannten Ausführung dadurch, daß er aus einem kleinen, leicht aufstellbaren Apparate besteht, der, ohne eine Rückwirkung auf das zu messende System auszuüben, sofort die Funkenübergänge anzeigt. Die Anordnung kann so getroffen sein, daß die von der Funkenstrecke erzeugten Schall-, Licht- oder Wärmewellen entweder direkt oder durch Vermittlung eines Mikrophons auf ein oder mehrere Bänder oder dergleichen einwirken und diese nach Art eines Frahmschen Frequenzmessers in Schwingungen versetzen.

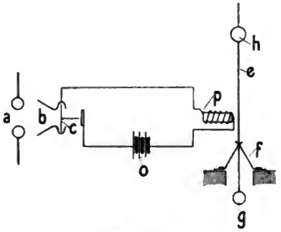


Fig. 197.

Eine Ausführungsform des Funkenzählers stellt die Figur 197 schematisch dar, und zwar eine solche mit indirekter Übertragung, unter Anwendung eines Mikrophons. Die in *a* erzeugten Schallschwingungen wirken auf ein Mikrophon *b* und beinflussen den durch das Mikrophon fließenden Strom, der von einer Stromquelle *o* geliefert wird. In den Mikrophonstromkreis ist eine Spule *p* eingeschaltet, die auf eine Resonanzvorrichtung *e*, welche zwischen einer Haltevorrichtung *f* angeordnet ist, einwirkt. Die Resonanzvorrichtung *e* ist zwischen *f* verschiebbar und mit einem Handgriff *g* oder einer anderen geeigneten Einstellvorrichtung und einer Marke *h* versehen. Die Ausschläge der Resonanzvorrichtung kommen auf nach Funkenzahlen geeichten Skalen zum Ausdruck.

Es ist selbstverständlich, daß an Stelle des Mikrophons *b* eine andere geeignete Vorrichtung, welche auf Schallschwingungen, Licht- oder Wärmestrahlen anspricht, wie z. B. eine Selenzelle, Thermoelement usw. gesetzt werden kann. Man ist bei diesen Anordnungen naturgemäß von der Übertragungsweite vollkommen unabhängig.

Ferner ist es möglich, die Zungen, Bänder usw. direkt, z. B. durch ein Mikrophon, zum Ansprechen zu bringen oder aber die

× D. R. P. No. 181276. „Funkenzähler für drahtlose Telegraphie.“ Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. Angem. 8. 3. 1906. Erteilt 7. 1. 07.

Digitized by Google

Zungen auf einen Resonanzkasten zu setzen, der von der Funkenstrecke aus in Schwingungen versetzt wird. Letzteres Verfahren ist selbstverständlich nur dann anzuwenden, wenn der Funkenzähler in unmittelbarer Nähe der Funkenstrecke gebraucht werden soll.

Um für einen größeren Bereich mit einer Zunge auszukommen, kann diese mit einem verschiebbaren Reiter versehen werden, der je nach seiner Stellung die betreffende Resonanzlage bestimmt. Man kann somit mehrere Skalen anbringen, die nach entsprechenden Funkenzahlen geeicht sind.

Es ist wesentlich, daß man mit Hilfe des Funkenzählers, welcher mit dem die Funkenstrecke enthaltenden Schwingungssystem verbunden ist, ein in das letztere eingeschaltetes quantitativ arbeitendes, integrierendes Instrument eichen kann, und daß man ferner die Schaltung so treffen kann, daß das quantitativ arbeitende integrierende Instrument nur dann anspricht, wenn sich der Funkenzähler in Tätigkeit befindet.

Man kann z. B. in das die Funkenstrecke enthaltende Schwingungssystem einen Shunt zum Instrument, beispielweise einem Hitzdrahtinstrument, parallel schalten und die Zuleitung zum Shunt durch den Funkenzähler betätigen; ebensowohl wie direkt kann man auch die aus Shunt, Instrument und Funkenzähler bestehende Vorrichtung induktiv mit dem die Funkenstrecke enthaltenden Schwingungssystem koppeln.

Digitized by Google

Anhang.

Bezugsquellen- und Preisverzeichnis.[×]

Zu „Das Paralleldrahtsystem“ (Seite 25 bis Seite 37).

a) Ernecke in Berlin-Tempelhof:

Preislisten-Nr. 8800. Apparat zur Untersuchung und Demonstration stehender elektrischer Wellen auf Drähten nach Lecher (s. Fig. 18) ohne Lechersche Röhre und Induktor . . . . ℳ 120.—

Preislisten-Nr. 8801. Lechersche Röhre, kürzere Form ohne Elektroden (Fig. 19) . . . . ℳ 5.—

Preislisten-Nr. 8802. Lechersche Röhre, längere Form für Messungen (Fig. 20) . . . . ℳ 7.—

b) Max Kohl in Chemnitz:

Preislisten-Nr. 28056. Apparat nach Coolidge-Blondlot zur Demonstration elektrischer Wellen (Fig. 21), bestehend aus Erreger auf Stativ mit Hartgummischutzmantel, einer Abspannvorrichtung auf Stativ, 2 Drähten, je 0,2 mm stark und 5,5 m lang, 6 Brücken verschiedener Größe . . . ℳ 75.—

c) Meiser & Mertig in Dresden:

Preislisten-Nr. 11708. Apparat nach Lecher zur Vorführung und Messung stehender elektrischer Schwingungen (ohne Induktor und ohne Lechersche Röhre) . . . . ℳ 100.—

Preislisten-Nr. 11493. Aronssche Röhre zum Nachweis elektrischer Schwingungen auf Drähten, ca. 250 cm lang . . . . ℳ 40.—

d) G. Lorenz in Chemnitz:

Preislisten-Nr. 1675. Apparat für stehende Wellen auf Drähten nach Lecher (ähnlich Fig. 18) . . . . ℳ 45.—

[×] Die unverbindlich gezeichneten Preise sollen im wesentlichen nur die Größenordnung angeben.

Digitized by Google

e) F. R. Goetze in Leipzig:

Preislisten-Nr. 315. Röhren mit 2 Elektroden für die Versuche von Hertz mit Heliumfüllung

α) mit 3—5 mm Druck, leicht ansprechend . . . . ℳ 12.—
β) mit 10 mm Druck, weniger leicht ansprechend, aber noch heller leuchtend . . . . ℳ 12.75

Preislisten-Nr. 315. Röhren mit 1 Elektrode

mit Helium . . . . ℳ 11.25
mit Kalium . . . . ℳ 15.—

Zu „Geschlossene Schwingungssysteme" (Seite 37 bis Seite 44).

Ernecke in Berlin-Tempelhof:

Preislisten-Nr. 8848. Resonanzanordnung nach Spieß-Ernecke (siehe Fig. 23). Der Apparat zeigt außer dem Lodgeschen Versuch des Bestehens der Resonanz noch, daß letztere von Selbstinduktion und Kapazität in gleicher Weise abhängig ist . . . . ℳ 54.—

Max Kohl in Chemnitz:

Preislisten-Nr. 28 125. 2 Leydener Flaschen nach Lodge zur Demonstration elektrischer Resonanz (s. Fig. 24). Die Höhe beträgt 16 cm ℳ 24.—

Preislisten-Nr. 28 127. Entladungsröhre nach Noack (ähnlich Fig. 26) zum Nachweis von Resonanzschwingungen . . . . ℳ 4.—

Meiser & Mertig in Dresden.

Preislisten-Nr. 13 622. 2 Leydener Flaschen mit Einrichtung zum Nachweis der elektrischen Resonanz und regulierbarer Funkenstrecke. Flaschenhöhe 20 cm (ähnlich Fig. 24) . . . . ℳ 18.—

G. Lorenz in Chemnitz.

Preislisten-Nr. 1676. Apparat zur Demonstration der elektrischen Resonanz nach Lodge, (ähnlich Fig. 24) . . . . ℳ 25.—

Zu „Die Resonatorspule von Arco-Slaby" (Seite 44 bis Seite 54).

Die Arco-Slabysche Resonatorspule wird hergestellt und verkauft von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. Berlin SW., Tempelhoferufer 9 und zwar in zwei Ausführungen:

Type A. 55 normal bis 300 m λ . . . . ℳ 225.—
Type A. 110 normal bis 600 m λ . . . . ℳ 262.—

Zu „Der Frequenzmesser von Drude" (Seite 58 bis Seite 66).

Der Drudesche Wellenmesser wird geliefert von:

W. Schmidt, Gießen, Goethestr. 35.

Ohne Kondensator kostet das System

bei Messung der Wellenlänge in Luft . . . . ℳ 20.—
bei Messung der Wellenlänge in einer beliebigen Flüssigkeit ℳ 40.—

Der Meßkondensatorpreis beträgt . . . . ℳ 70.—

Digitized by Google

Max Kohl in Chemnitz.

Katalog-Nr. 28058. Wellenmesser nach Drude ohne Vakuumröhre, Preis . . . . *M* 60.—

Zu „Der Franke-Dönitzsche Wellenmesser“ (Seite 67 bis Seite 83).

Der Franke-Dönitzsche Wellenmesser wird von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. in den Handel gebracht, und zwar in Ausführungsformen entsprechend den Fig. 61, 62 und 63:

Type WD mit Thermometer . . . . *M* 1910.—
Type WD mit Hitzdrahtwattzeiger . . . . *M* 1950.—
Für wissenschaftliche Zwecke kostet Type WD . . . . . *M* 1337.—
Type WSl Aufstöpselbare Selbstinduktionsringe (Wicklung nach Angabe der Wellenlänge) pro Stück . . . . *M* 194.—
Type WK Primärring (Indikatortransformator) . . . . . *M* 30.—

Der Hitzdrahtwattzeiger wird von Hartmann & Braun A. G. in Frankfurt-Bockenheim geliefert:

Hitzdrahtwattzeiger Type Ab, ganzer Meßbereich 1/10 Watt *M* 75.—

Zu „Der Multiplikationsstab von Slaby“ (Seite 83 bis Seite 94).

Die Multiplikationsstäbe werden von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. in den Handel gebracht. Ein derartiger fertiger Satz von drei Spulen ist in Fig. 74 wiedergegeben.

Type W. M. 3. S., 3 Stäbe in gemeinsamem Etui für 120—1000 m *M* 248.—
Type W. M. 2. S., 2 Stäbe in gemeinsamem Etui für 120—450 m *M* 160.—
Type M. W. 1 Stab für 450—1000 m, Preis nach Vereinbarung.

Zu „Der Frequenzmesser von Rendahl (Seite 97 bis Seite 108).

Dieser Frequenzmesser wird von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. in Berlin hergestellt. Preis nach Anfrage.

Zu „Der Frequenzmesser von Ives-De Forest“ (Seite 108 bis Seite 115).

Der Ives-De Forestsche Frequenzmesser wird von der De Forest Wireless Telegraph Company, New York, gebaut. Preis nach Anfrage.

Zu „Das Cymometer von Fleming“ (Seite 115 bis Seite 129).

Das Cymometer wird von der Marconi Wireless Telegraph Co. Limited in London E. C., 18. Finch Lane Threadneedle Street, in den Handel gebracht, und zwar entsprechend den verschiedenen Meßbereichen in vier Ausführungsformen:

Reg. 1	Cymometer zur Messung von Wellenlängen bis 700 m . . .	*M* 336.—
Reg. Ia	,, ,, ,, ,, ,, ,, 1400 m . . .	*M* 400.—
Reg. 2	,, ,, ,, ,, ,, ,, 2000 m . . .	*M* 530.—
Reg. 3	,, ,, ,, ,, ,, ,, 3000 m . . .	*M* 620.—
Reg. 4	Thermoelement und Widerstand	*M* 63.—
Reg. 5	Galvanometer	*M* 150.—
Reg. 6	Milliamperemeter	*M* 70 —

Digitized by Google

Reg. 7 Spez alwiderstand . . . . ℳ 30.—
Reg. 8 Neo::röhre . . . . ℳ 42.—
Reg. 9 CO_2-Röhre . . . . ℳ 8.—

Zu „Kommerzieller Wellenmesser der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie“ (Seite 129 bis Seite 133).

Der kommerzielle Wellenmesser wird von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie m. b. H. hergestellt. Der Verkaufspreis beträgt ungefähr . . . . ℳ 1000 —

Zu „Der Stationsprüfer der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie“ (Seite 149 bis Seite 152).

Der Stationsprüfer wird von der Gesellschaft für drahtlose Telegraphie hergestellt. Der Preis beträgt ungefähr . . . . ℳ 900.—

Zu „Der Universalwellenmesser nach Hahnemann (Seite 152 bis Seite 162).

Der Universalwellenmesser wird von der C. Lorenz Aktiengesellschaft, Berlin SO., Elisabethufer 5/6 fabriziert und vertrieben. Der Verkaufspreis beträgt etwa . . . . ℳ 750 —

Digitized by Google

Sachregister.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Namenregister.

Digitized by Google

Digitized by Google

Verlag von VEIT & COMP. in LEIPZIG

DIE PHYSIOLOGISCHEN FERNWIRKUNGEN DER ELEKTRICITÄT.

Untersuchungen von

Dr. Basile Danilewsky,

Professor der Physiologie an der Universität Charkow.

Mit zahlreichen Abbildungen. gr. 8. 1902. geh. 7 M.

VORLESUNGEN ÜBER THERMODYNAMIK

von **Dr. Max Planck,**

o. ö. Professor der theoretischen Physik an der Universität Berlin.

Mit fünf Figuren im Text. Zweite, verbesserte Auflage.

gr. 8. 1905. kart. in Ganzleinen 7 M. 50 Pf.

LEHRBUCH DER PHYSIK

zu eigenem Studium und zum Gebrauche bei Vorlesungen

von **Dr. Eduard Riecke,**

o. ö. Professor der Physik an der Universität Göttingen.

Zwei Bände.

Dritte, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit gegen 800 Figuren im Text.

Lex. 8. 1905. geh. 25 M., geb. in Ganzleinen 27 M.

. . . „Das Buch zeigt eine Art von künstlerischem Gepräge, das die Lektüre dieses Werkes zu einem wahren Genusse macht. Ein besonders günstiger Umstand ist es, daß der Verfasser die theoretische wie die experimentelle Seite der Physik in gleichem Maße beherrscht; dementsprechend sind die Beziehungen zwischen beiden mit einer Vollkommenheit zur Darstellung gelangt, wie sie zuvor noch nicht erreicht worden ist."

(Zeitschrift für den physikalischen und chemischen Unterricht.)

LEHRBUCH DER MATHEMATIK

für Studierende der Naturwissenschaften und der Technik.

Einführung in die Differential- und Integralrechnung und in die analytische Geometrie.

Von **Dr. Georg Scheffers,**

o. Professor an der Technischen Hochschule Charlottenburg.

Mit 344 Figuren.

Lex. 8. 1905. geh. 16 M., geb. in Ganzleinen 17 M. 50 Pf.

Das Buch ist für diejenigen bestimmt, die sich durch Selbststudium mit den Begriffen und Methoden der höheren Mathematik vertraut machen wollen. Es setzt nur das geringste Maß von Vorkenntnissen voraus, fördert aber den, der es aufmerksam studiert, trotzdem soweit, daß er die in seinem Forschungskreis auftretenden Anwendungen der Mathematik zu verstehen im stande ist.

Verlag von VEIT & COMP. in LEIPZIG

DIE ENERGETIK

NACH IHRER GESCHICHTLICHEN ENTWICKELUNG.

Von **Dr. Georg Helm,**

o. Professor an der k. techn. Hochschule zu Dresden.

Mit Figuren im Text. gr. 8. 1898. geh. 8 M. 60 Pf., geb. in Ganzlein. 9 M. 60 Pf.

DIE THEORIEN DER ELEKTRODYNAMIK

NACH IHRER GESCHICHTLICHEN ENTWICKELUNG.

Von **Dr. Georg Helm,**

o. Professor an der Technischen Hochschule zu Dresden.

Mit Figuren im Text. gr. 8. 1904. geh. 5 M. 60 Pf., geb. in Ganzlein. 6 M. 60 Pf.

In ähnlicher Weise, wie dies von Ernst Mach für Mechanik und Wärme und von dem Verfasser für die Energetik geschehen ist, stellen die „Theorien" eine Einführung in das geschichtliche Werden der Elektrodynamik dar. Das Buch will dem Elektriker die Gedankenreihen klarlegen, von welchen die Entwickelung der Elektrodynamik bestimmt worden ist, und deren inneres Zusammenwirken erkenntlich machen.

DAS STEREOSKOP.

Seine Anwendung in den technischen Wissenschaften.
Über Entstehung und Konstruktion stereoskopischer Bilder.

Von **Wilhelm Manchot,**

Architekt und Professor am Städel'schen Kunstinstitut zu Frankfurt a. M.

Mit 50 Figuren. Lex. 8. 1903. geh. 1 M. 80 Pf.

KOMPENDIUM DER THEORETISCHEN PHYSIK.

Von **Dr. Woldemar Voigt,**

o. ö. Professor der Physik an der Universität Göttingen.

Zwei Bände. — gr. 8. geh. 32 M., geb. in Halbfranz 36 M.

Erster Band: Mechanik starrer und nichtstarrer Körper. Wärmelehre.
1895. geh. 14 M., geb. in Halbfranz 16 M.

Zweiter Band: Elektrizität und Magnetismus. Optik.
1896. geh. 18 M., geb. in Halbfranz 20 M.

ELEMENTARE MECHANIK

als Einleitung in das Studium der theoretischen Physik.

Von **Dr. Woldemar Voigt,**

o. ö. Professor der Physik an der Universität Göttingen.

Zweite, umgearbeitete Auflage. Mit 56 Figuren im Text.

Lex. 8. 1901. geh. 14 M., geb. in Halbfranz 16 M.

Das Werk ist zunächst dazu bestimmt, die Studierenden der Mathematik und Physik in die Grundlehren und Methoden der allgemeinen Mechanik einzuführen. Aber auch weiteren Kreisen wird ein Buch willkommen sein, welches die analytische Mechanik nicht nach ihren mathematischen, sondern nach ihren physikalischen Beziehungen behandelt und nur geringe mathematische Kenntnisse voraussetzt.

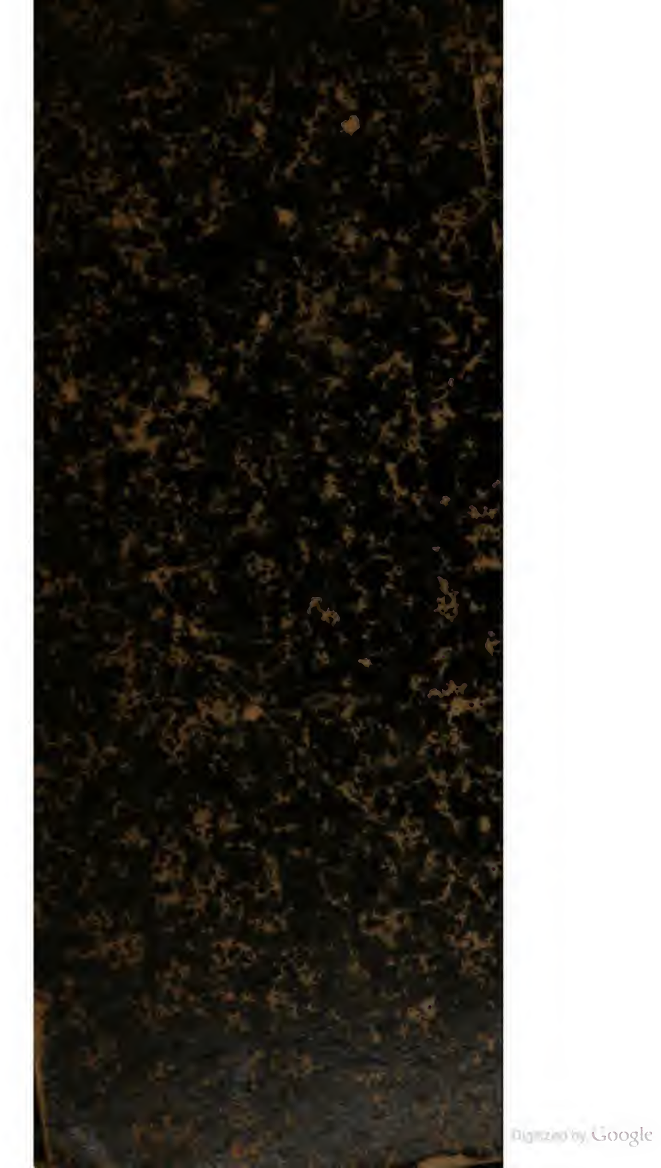
Gedruckt bei Oscar Brandstetter in Leipzig. 32107.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google